

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием, перемещаемым транспортными системами на основе механизма с промежуточной опорной поверхностью на основе механизма с гибкой связью»

УДК 621.791.053:620.179.152.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Константинов Гаврил Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Федор Аркадьевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк Вера Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Макаровских Александра Викторовна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

Результаты ООП

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	УК-1, УК-2, УК-4, УК-5, УК-6, ОПК-1.0ПК-2, ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационнокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7, ПК-2, ПК-4 критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области производственно-технологической деятельности		
P3	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных

	обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов.	стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 17 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
P4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве.	УК-1, УК-2, ОПК-6, ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области организационно-управленческой деятельности		
P5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы.	УК-3, УК-6, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазового промышленного оборудования	УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-4, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических

		процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области экспериментально-исследовательской деятельности		
P7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела.	УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-5
в области проектной деятельности		
P8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»		
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов установок, технического обслуживания и ремонта оборудования.	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3ДК4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования "
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-4, ОПК5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"

P11	<p>Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.</p>	<p>УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-2, ОПК3 ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования "</p>
-----	--	---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ К.К. Манабаев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Константинов Гаврил Александрович

Тема работы:

«Повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием, перемещаемым транспортными системами на основе механизма с промежуточной опорной поверхностью на основе механизма с гибкой связью»
Утверждена приказом директора (дата, номер) №79-16/с от 19.03.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является орбитально перемещающийся сканер самоходного дефектоскопа на основе механизма с тяговой цепью для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор существующих методов неразрушающего контроля. 2) Постановка задач исследования. 3) Разработка расчетной схемы. 4) Построение программного кода в ПО MathCad. 5) Анализ полученных данных и расчет. 6) Выбор оптимальных параметров.
Перечень графического материала	Рисунки, таблицы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант

«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Романюк Вера Борисовна, доцент, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент
Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП	Макаровских Александра Викторовна, старший преподаватель
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Техническая диагностика трубопроводов методами неразрушающего контроля	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	19.03.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Федор Аркадьевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Константинов Гаврил Александрович		

РЕФЕРАТ

Диссертационная работа 119 с., 32 рис., 20 табл., 41 источников, 1 прил.

Ключевые слова: техническая диагностика, неразрушающий контроль, магистральный трубопровод, кольцевой сварной шов, орбитальное перемещение, самоходный дефектоскоп, каретка детекторного модуля, тяговая цепь, ударная нагрузка, напряженное деформированное состояние.

Объектом исследования является орбитально перемещающийся сканер детекторного модуля самоходного дефектоскопа на основе механизма с тяговой цепью для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.

Цель работы – Разработка рекомендаций по использованию метода фиксации подвижной платформы для транспортировки детектора ионизирующего излучения на основе механизма с тяговой цепью.

В процессе исследования проводились оценка усилия прижатия тяговой цепи в зависимости от изменения различных геометрических параметров и оценка надежности элементов конструкции тяговой цепи с точки зрения динамического воздействия.

В результате исследования на основе составленной расчетной схемы и оценки нагрузок, был построен программный код в программном обеспечении MathCad. Согласно полученным результатам, рассматриваемая компоновка механизма перемещения (с тяговой цепью) рентгенографического сканера имеет ряд преимуществ перед современными методами неразрушающего контроля.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения:

Магистральные трубопроводы – трубопроводы и отводы от них диаметром до 1420 мм включительно с избыточным давлением среды свыше 1,18 МПа (12 кгс/см²) до 15 МПа (153 кгс/см²), предназначенные для транспортирования углеводородов от места производства к месту потребления.

Диагностирование (техническое диагностирование) – определение технического состояния объекта. Задачами технического диагностирования являются: 1) контроль технического состояния; 2) поиск места и определение причин отказа (неисправности); 3) прогнозирование технического состояния.

Объект диагностики – изделие и (или) его составные части, подлежащие (подвергаемые) диагностированию (контролю).

Техническое состояние объекта – состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Внутритрубное диагностирование – вид технического диагностирования, состоящий из комплекса работ, обеспечивающих получение информации о дефектах, сварных швах, особенностях трубопровода и их местоположении, с использованием внутритрубных инспекционных приборов, в которых реализованы различные виды неразрушающего контроля, для выявления на основе этой информации наличия и характера дефектов.

Внутритрубный инспекционный прибор – устройство, перемещаемое внутри трубопровода потоком перекачиваемого продукта, снабженное средствами контроля и регистрации данных о дефектах и особенностях стенки трубопровода, сварных швов и их местоположении.

Неразрушающий контроль – контроль соответствия параметров технических устройств, материалов, изделий, деталей, узлов, сварных соединений требованиям нормативных документов, при котором не разрушается пригодность объекта контроля к применению и эксплуатации.

Визуальный и измерительный контроль – вид неразрушающего контроля, при котором первичная информация воспринимается органами зрения непосредственно или с использованием оптических приборов, не являющихся контрольно-измерительными (например, с помощью лупы), а измерения осуществляются средствами измерений геометрических величин.

Капиллярный контроль – метод неразрушающего контроля, использующий возможности проникновения специальных жидкостей в несплошности на поверхности объекта контроля в целях их обнаружения.

Магнитопорошковый контроль – метод неразрушающего контроля, использующий для выявления дефектов металлических изделий притяжение частиц магнитного порошка силами неоднородных магнитных полей, возникающих на поверхности изделия при наличии в нем поверхностных и подповерхностных дефектов.

Радикационный контроль – вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе ионизирующего излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

Ультразвуковой контроль – акустический метод неразрушающего контроля, использующий для обнаружения дефектов упругие волны ультразвукового диапазона, вводимые в изделие и отражающиеся от дефектов или рассеивающиеся в них.

Напряженно-деформированное состояние – совокупность напряжений и деформаций, возникающих при действии на материальное тело внешних нагрузок, температурных полей и других факторов.

Допускаемое напряжение – наибольшее напряжение, которое можно допустить в элементе конструкции при условии его безопасной, долговечной и надежной работы.

Запас прочности – отношение предельно допустимой теоретической нагрузки к той нагрузке, при которой возможна безопасная работа конструкции с учетом случайных перегрузок, непредвиденных дефектов и недостоверности исходных данных для теоретических расчетов.

Сокращения:

НК – неразрушающий контроль;

ВИК – визуально-измерительный контроль;

УЗ – ультразвук;

УЗК – ультразвуковой контроль;

МКЭ – метод конечных элементов.

Нормативно-техническая документация:

ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.

ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.

ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения.

ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.

ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия.

ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.

ГОСТ Р 54907-2012. Техническое диагностирование. Основные положения.

ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем.

ГОСТ 12.2.003-74. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума.

Классификация.

ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

Оглавление

Введение	14
1 Обзор литературы	16
2 Техническая диагностика трубопроводов методами неразрушающего контроля ...	25
2.1 Ультразвуковой метод	30
2.2 Радиационный метод	31
2.2.1 Схемы просвечивания	32
2.2.2 Рентгенографический кроулер	36
2.3 Системы орбитального перемещения для контроля кольцевых сварных швов....	37
3 Разработка расчетной схемы	45
3.1 Оценка нагрузок, действующих на тележку в положении равновесия.....	46
3.2 Численное моделирование.....	51
3.3 Анализ результатов	53
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	58
5 Социальная ответственность	81
Заключение.....	99
Список используемых источников	100
Приложение А.....	104

Введение

Строительство магистральных трубопроводов является динамически развивающейся отраслью. Протяженность ветки трубопровода может достигать нескольких тысяч километров, однако состоит она из отдельных отрезков труб небольшой длины, которые соединены посредством кольцевых сварных швов. Швы подлежат обязательному контролю качества. Также, обязательному контролю подлежат швы, полученные в ходе ремонтных работ на уже действующих трубопроводах.

Для обеспечения эксплуатационной надежности и эффективности магистральной системы трубопроводов производят техническое диагностирование с применением наземных методов неразрушающего контроля, внутритрубной дефектоскопии, мобильных роботов и иных методов. Техническое диагностирование позволяет выявить дефекты, определить срок безаварийной эксплуатации трубопроводов, остаточный ресурс безопасной работы системы в целом и дать объективную оценку фактического технического состояния.

Актуальность данной работы подтверждается тем, что она выполнялась в рамках договора с ПАО «Газпром» по созданию самоходного дефектоскопического комплекса для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.

В рамках проекта должен был создаваться самоходных дефектоскопический комплекс, который состоит из рентгеновского излучателя (кроулера), передвигающегося внутри трубы, приемника ионизирующего излучения и устройства, перемещающего цифровую рентгеновскую панель на основе сцинтилляционного детектора. Устройство совершает движение по орбитальной траектории относительно объекта контроля – поперечного кольцевого сварного шва.

В ходе выполнения данного проекта, отрабатывались различные технологии фиксации каретки детекторного модуля на трубе, в частности, это крепление устройства перемещения с помощью специального металлического

пояса (бандажа). В этом случае каретка перемещается за счет прижатия роликов к торцевой поверхности удерживающего бандажа. Второй способ – перемещение осуществляется по трубе с помощью специальной тяговой разъемной быстрофиксирующейся цепи. Третий вариант – это фиксация каретки детекторного модуля при помощи магнитных колес.

Целью магистерской диссертации является разработка рекомендаций по использованию метода фиксации подвижной платформы для транспортировки детектора ионизирующего излучения на основе механизма с тяговой цепью.

1. Обзор литературы

На данный момент в трубной дефектоскопии существуют различные изобретения, которые в той или иной степени и в различных видах конструкций используют системы орбитального перемещения.

Разбор данных изобретений поможет проанализировать отрасль производства на наличие каких-либо слабых мест, которые могли бы быть исключены при помощи новой конструкции или благодаря особой компоновке составных элементов другого оборудования. Что в свою очередь явилось бы симбиозом уже существующих технических решений, который смог бы решить поставленные перед отраслью задачи.

Первым в качестве примера рассмотрим устройство сканирующего дефектоскопа с номером заявки RU2402760, в котором в качестве направляющего пояса используется трос, удерживающий тележку с дефектоскопом на поверхности контролируемой трубы, при помощи отжимного механизма. Сразу стоит отметить, что применение в качестве направляющего пояса трос является недостатком по той причине, что трос не обладает достаточной жесткостью и эластичен. Данный факт будет способствовать проскальзыванию навесного оборудования.

Также стоит отметить, что в качестве метода контроля в данном изобретении используется метод вихревых токов. Данный метод не отличается высокой производительностью, которая напрямую зависит от мощности вихревого преобразователя. Преобразователи с большой мощностью обладают, как правило, и большим весом, что создаст неудобства для контроля с использованием орбитальной системы перемещения. Глубина распознаваемых дефектов также невелика и составляет максимум порядка нескольких десятков миллиметров, в то время как такой метод как рентгенографический способен контролировать объекты толщиной до 500 мм.

Изобретение относится к области неразрушающего контроля и может быть использовано для обнаружения дефектов потери металла и

растрескиваний в стенках труб при проведении переизоляции трубопроводов.

Целью изобретения является создание диагностического устройства минимального веса, способного обеспечить автоматическую разметку на трубе краской мест с недопустимыми дефектами потери металла или растрескиваниями [1].

На рисунке 1 показана кинематическая схема устройства.

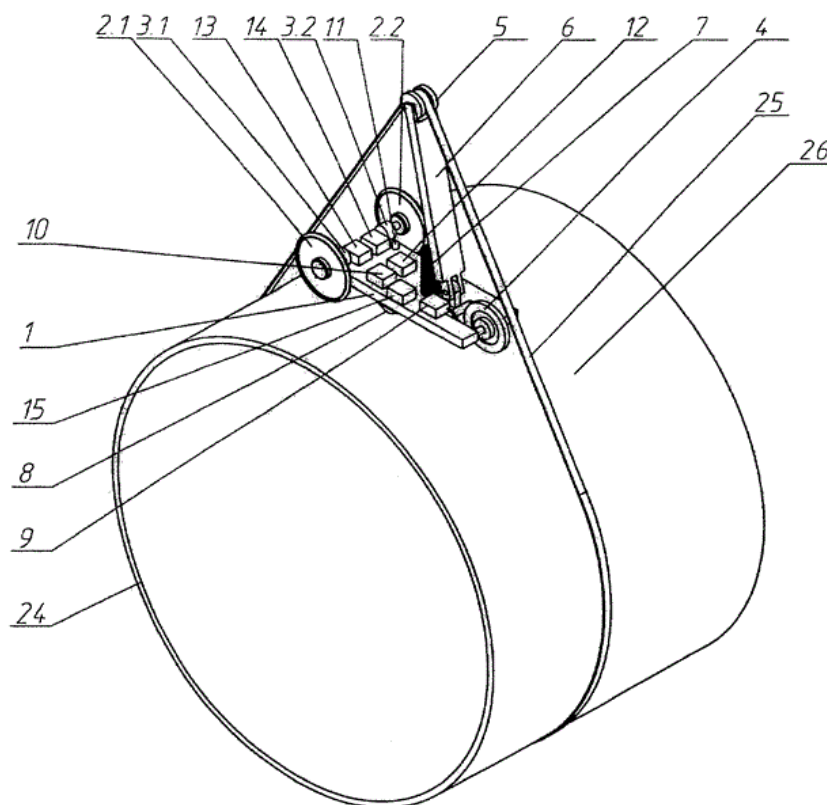


Рисунок 1 – Кинематическая схема сканирующего дефектоскопа

Устройство (рисунок 1) состоит: тележка с рамой 1 первого 2.1 и второго 2.2 ходовых колес, первого 3.1 и второго 3.2 мотор-редукторов, опорного колеса 4, ролика 5, отжимного рычага 6, пружины 7, группы вихретоковых датчиков 8, краскопульта 9, бортовой электронной аппаратуры 10, импульсного источника света 11, бортового аккумулятора 12, первого 13 и второго 14 контроллеров управления двигателем, трехкомпонентного датчика линейных ускорений 15, прижимного трос-пояса 25. Позицией 24 обозначена обследуемая труба [1].

Следующее для рассмотрения изобретение – это патент под номером RU151458. Представляет собой систему радиографического контроля сварных швов трубопроводов.

Техническим результатом заявляемой полезной модели являются простота конструкции и обслуживания системы, надежность контроля и хранения изображений сварных швов.

Указанный технический результат достигается тем, что в предлагаемую систему помимо перечисленных выше агрегатов (детектор, батарея питания, устройство беспроводного управления и передачи данных, защитный кожух) также входит портативный компьютер, установленный в одном корпусе с детектором и позволяющий хранить значительное количество изображений. Целесообразность такого решения заключается в следующем.

Детектор программируется оператором на начало работы и получение изображения в момент выхода излучения от источника на требуемый уровень мощности.

Источник излучения также программируется на работу в течение определенного времени, минимально необходимого для съемки. После запуска источника излучения оператор, до включения излучения, удаляется на безопасное расстояние от места контроля трубопровода, т.е. места работы источника излучения.

Существующие рентгеновские источники не приспособлены к такому режиму работы.

Длительность излучения выставляется на источнике заранее и через определенное время излучение автоматически выключается. Беспроводной связи для управления источником излучения как правило нет.

Таким образом, предлагаемая система:

- исключает необходимость избыточного по времени облучения объекта контроля и повышает надежность работы;
- ускоряет и упрощает работу оператора;
- увеличивает срок службы источника излучения и детектора;

- сокращает возможное вредное воздействие излучения на оператора.

На рисунке 2 представлена схема размещения системы на трубопроводе при беспроводном соединении компьютера одного из детекторов с компьютером оператора и проводном соединении с остальными детекторами. Система включает трубу с кольцевым швом 1, вдоль которого размещаются цифровые рентгеновские детекторы с автономными источниками питания 2, компьютер промежуточного хранения/накопления данных 3, размещенный в одном корпусе с одним из детекторов. Указанный компьютер 3 соединен беспроводной связью с компьютером оператора 4 и проводной связью с остальными детекторами. Источник рентгеновского излучения с блоком питания 5 и система позиционирования и перемещения 6 размещены внутри трубы.

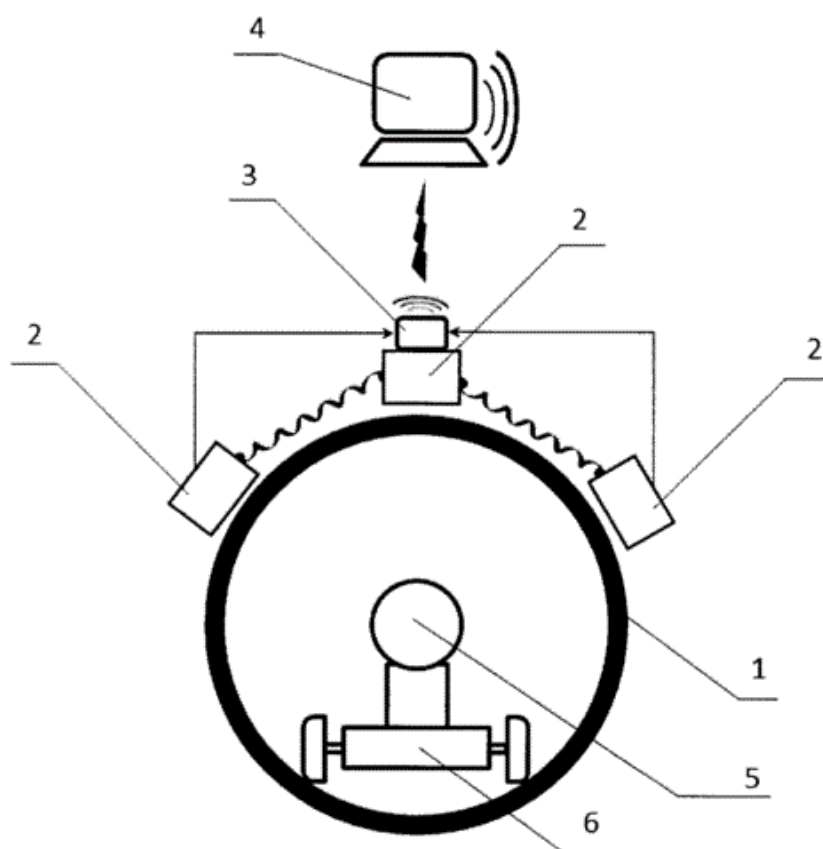


Рисунок 2 – Схема размещения системы

Стоит отметить в качестве примера успешного применения системы орбитального перемещения наружную сварочную систему комплекса

автоматической сварки компании CRC-EVANS, которая представлена на рисунке 3.

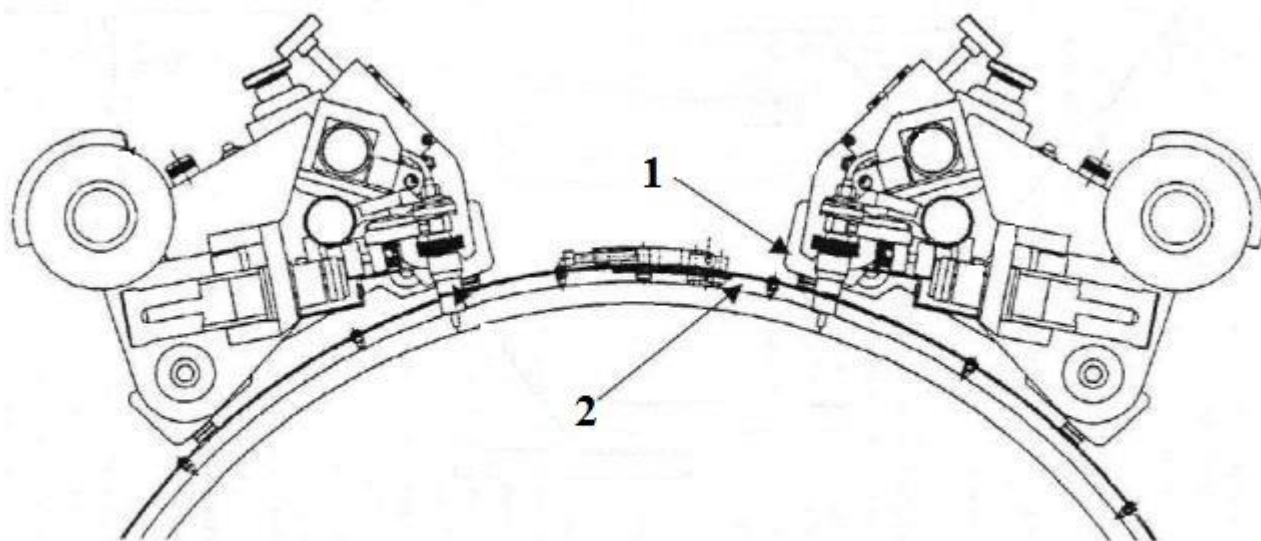


Рисунок 3 – Наружные сварочные головки CRC-EVANS:

1 – каретка со сварочной проволокой; 2 – направляющий пояс

Механический наружный сварочный аппарат перемещается по направляющему поясу из пружинной стали шириной 120 мм, охватывающему трубу по окружности. Пояс фиксируется на трубе после обработки новой кромки, перед началом сварки стыка. Обычно пояс размещается на расстоянии 95 мм от края трубы, а точность его установки по окружности обеспечивается специальным шаблоном [2].

Каждый сварочный аппарат включает в себя три компонента:

- каретку для перемещения по направляющему поясу;
- пульт управления;
- сварочную секцию.

Портативный комплекс цифровой радиографии «ТРАНСКАН» (рисунок 4) предназначен для рентгеновского контроля сварных швов при прокладке и ремонте трубопроводов диаметром 500-1420 мм в трассовых условиях.

Перемещение детектора по трубе осуществляется за счет движения электродвигателя на прижимных роликах по металлическому направляющему поясу.

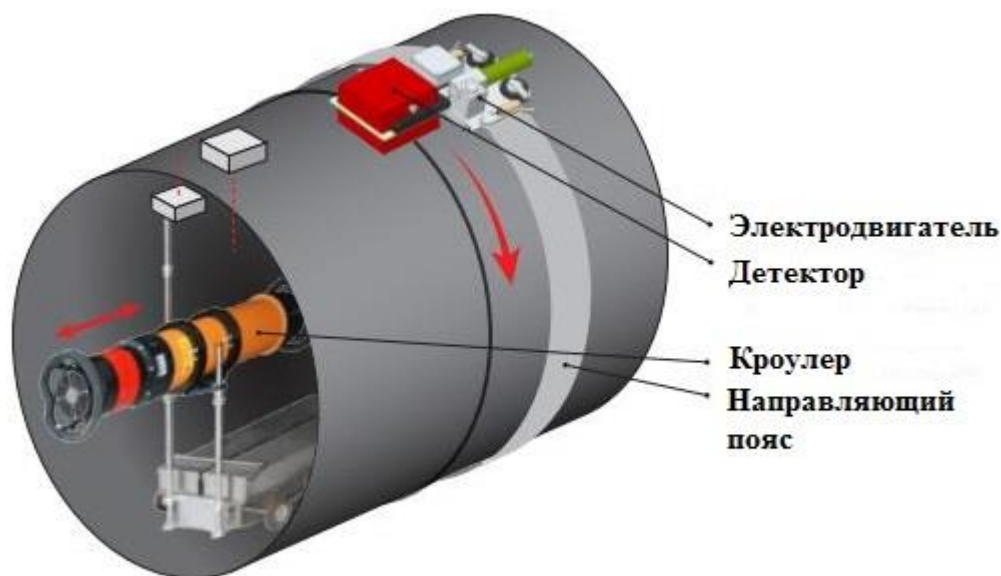


Рисунок 4 – Портативный комплекс цифровой радиографии «ТРАНСКАН»

Применение портативного комплекса цифровой радиографии «ТРАНСКАН» приводит к:

- снижению затрат на контроль за счет отсутствия расходных материалов в виде радиографической пленки и оборудования для ее проявки и хранения снимков;
- снижению времени проведения контроля за счет отсутствия «мокрой» технологии обработки пленки;
- снижению времени экспозиции и нагрузки рентгеновского излучения на персонал за счет применения цифровой радиографии;
- увеличению возможностей по контролю результатов за счет создания электронной базы хранения снимков.

Существует конструкторское решение, представляющее собой механизм, направляющим поясом которого является цепь. Подобные конструкции долгое время активно используются в системах плазменной резки труб. Достоинством такого решения перед использованием металлического направляющего пояса, к примеру, как в системе «ТРАНСКАН», является универсальность цепи. В тех

случаях, когда необходимо провести контроль поочередно труб с различным диаметром, приходится использовать набор направляющих поясов, каждый из которых предназначен для одного конкретного диаметра трубы. Использование цепного пояса, который можно добирать количеством звеньев до обхвата необходимого диаметра, способно решить данную проблему.

Приемник рентгенографического излучения располагается на специальной каретке, на ней же расположен электропривод. Электропривод через червячный редуктор передает вращающий момент на звездочку, контактирующую с цепью. Сила прижатия цепи контролируется за счет отжимного механизма действующего на звездочку.

В промышленном рентгеновском контроле цифровые технологии стали использоваться совсем недавно, однако, несмотря на очевидные преимущества цифровой радиометрии перед пленочной радиографией, на практике отказываться от «пленки» контролирующие организации не торопятся в силу хорошо отработанной методики и законодательной базы. Наряду с этим, широкомасштабное внедрение цифровой рентгеновской дефектоскопии актуально уже сегодня, так как это переход на новый качественный уровень за счет добавления новых технических возможностей, повышения производительности труда и безопасности рабочего персонала [7].

Установка РМУ-1 позволяет производить цифровой рентгеновский контроль сварных швов трубопроводов диаметром 158...700 мм методом фронтального просвета (через две стенки) с толщиной стенки до 20 мм (рисунок 5). Верхний придел по диаметру трубы и толщине стенки ограничен только включенным в систему источником рентгеновского излучения. Визуализация осуществляется сканированием в режиме старт-стоп сварного шва путем синхронного вращения вокруг оси трубы детектора и источника рентгеновского излучения при их фиксированном взаимоположении друг напротив друга с помощью банджа. РМУ-1 может использоваться в

автономном режиме без внешнего источника питания с управлением по радиоканалу. Вес установки составляет 17 кг [7].



Рисунок 5 – Автоматизированная установка контроля кольцевых сварных соединений фронтальным методом «РМУ-1»

Установка беспленочной автоматизированной рентгенометрической системы «БАРС» предназначена для осуществления автоматизированного контроля труб из стали с ферромагнитными свойствами диаметром 158 мм и более в режимах панорамного просвечивания и фронтального просвечивания методом трех или более экспозиций (рисунок 6). В первом случае источник панорамного рентгеновского излучения с напряжением до 350 кВ устанавливается на самодвижущейся тележке типа кроулер внутри газотранспортной трубы. Во втором случае источник направленного рентгеновского излучения при фронтальном методе просвечивания крепится на наружной части трубы неподвижно. Блок детектора располагается на внешней поверхности трубы противоположно фокусу источника. В процессе сканирования стыка детектор автоматически перемещается снаружи вдоль траектории сварного шва в режиме старт-стоп на каретке с магнитными колесами, которые обеспечивают притягивающее усилие к трубе порядка 80 кгс. Вес установки составляет около 7 кг. Аккумуляторная батарея напряжением 25 В и емкостью 20 А/ч обеспечивает непрерывную работу установки в течение суток. Аккумуляторная батарея, вес которой составляет

также 7 кг, устанавливается в отдельный блок и питает установку «БАРС» посредством проводного соединения. В случае использования двух установок «БАРС» одновременно на трубах больших диаметров можно сократить время рентгеновского контроля [7].

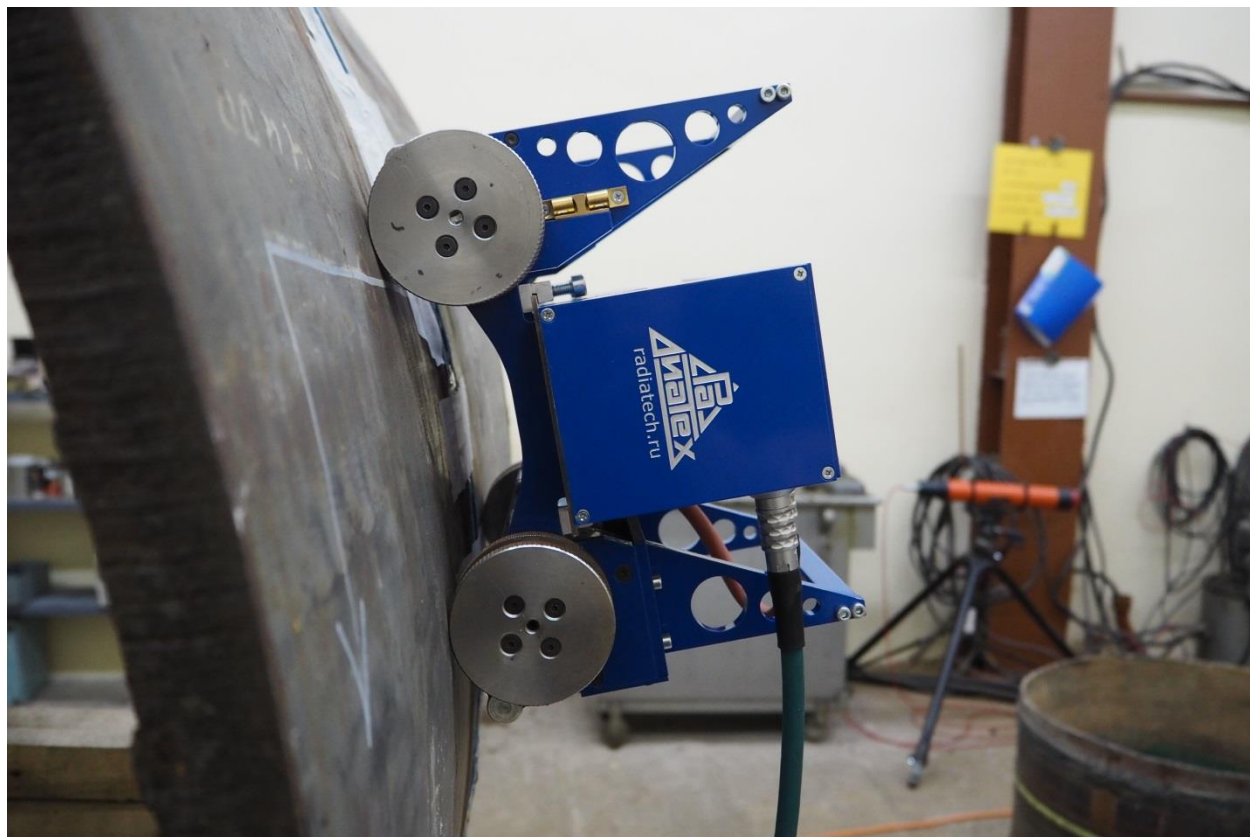


Рисунок 6 – Беспленочная автоматизированная рентгенометрическая система «БАРС»

2. Техническая диагностика трубопроводов методами неразрушающего контроля

В условиях эксплуатации на протяжении длительного времени трубопроводы подвергаются различным внешним и внутренним воздействиям, в результате чего происходит деградация материала, коррозионные повреждения, возникают и развиваются трещины усталости на поверхностях труб и другие виды дефектов. Несмотря на то, что проектирование трубопроводов по современным кодам и технология изготовления и монтажа должны обеспечить реализацию назначенного ресурса, исключить возможность возникновения таких дефектов не удастся. Чтобы избежать серьезных последствий подрастания дефектов, проводят различные обследования, применяя методы неразрушающего контроля [3].

Наиболее универсальным методом неразрушающего контроля, который применяется практически всех этапах изготовления изделий, является визуальный и измерительный контроль (ВИК).

Визуально измерительный контроль объектов (заготовки, детали, полуфабрикаты) и сварных соединений производится на следующих стадиях:

- входного контроля;
- подготовки деталей и сборочных единиц к сборке;
- сборки деталей и сборочных единиц под сварку;
- процесса сварки;
- контроля готовых сварных соединений и наплавки;
- после ремонта;
- оценки состояния материала и сварных соединений в процессе

эксплуатации технических устройств и сооружений, в том числе по истечении установленного срока их эксплуатации [4].

В том случае, если к сварным соединениям предъявляются требования по непроницаемости для жидкости и газа, то говорят о надежности свариваемой конструкции, характеризующийся герметичностью. Названием нарушением герметичности, при котором утечка вещества происходит через неплотности, служит определение течь.

Течь – это сквозной дефект в сварном соединении или структуре объекта, размер которого служит для выхода продукта наружу. Что касается сквозных дефектов, то они подразделяются на первичные и вторичные дефекты. Первичные, это дефекты, образованные при формировании сварного шва, к ним относятся свищи – сквозные поры, удлиненные по типу каналов, горячие трещины и непровары со шлаковыми включениями. Вторичные же дефекты – это те, которые появляются через какое-то время после сварки – усталостные и холодные трещины, или, к примеру, свищи, образовавшиеся под воздействием агрессивной среды или динамической нагрузки.

Методика течеискания основана на использовании пробного или контрольного вещества в качестве рабочего продукта, при помощи которого происходит выявление и регистрации течи.

Минимальный диаметр выявляемых каналов в миллиметрах определяем степень чувствительности метода.

Прохождение жидкости или газа через течи подчиняется законам гидростатики и гидродинамики. При этом следует учитывать вязкость и молекулярную массу контрольного (пробного) вещества, поскольку средние диаметры каналов течей весьма малы [5].

В качестве пробного вещества в различных методах применяют различные газы или жидкости. В качестве газов используют: воздух, азот, гелий, галоиды, аммиак, углекислый газ или смеси этих газов. Контрольными жидкостями являются: вода, керосин, растворы, пенетранты и другие.

Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменения взаимодействия контролируемого объекта и электромагнитным полем называется магнитным. Для целей метода используется обширный спектр электромагнитных полей, от постоянного электрического и магнитного полей до переменных полей с частотой в десятки мегагерц.

При помощи данного метода определяют поверхностные и подповерхностные дефекты сварных соединений, к числу которых относятся

несплошности на глубине до 10 мм – непровары, трещины, газовые поры, шлаковые включения.

Информацию о наличии дефектов получают посредством регистрации и анализа, магнитных полей рассеяния, возникающих над местами расположения дефектов.

Возможность применения магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основана на их свойствах. В обычном состоянии в изделии из ферромагнитного материала как бы находятся расположенные различным образом самопроизвольно намагниченные области – домены, поля которых в этом случае компенсируют друг друга и результирующее магнитное поле изделия равно нулю. Под влиянием магнитного поля домены ориентируются в направлении этого поля, суммируются и деталь намагничивается. На рисунке 7 изображена петля гистерезиса, которая характеризует процесс намагничивания.

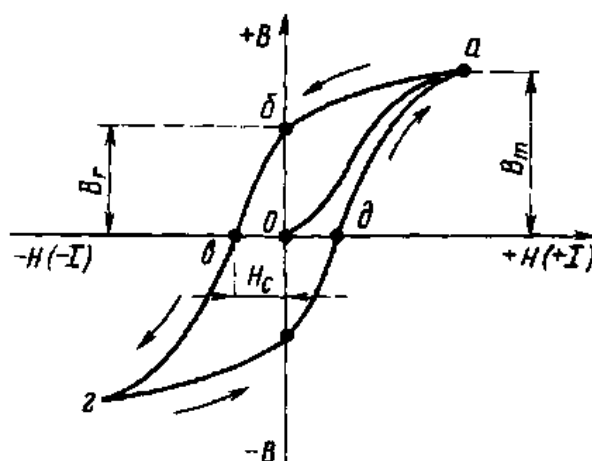


Рисунок 7 – Петля гистерезиса

Магнитный поток в теле ферромагнитного материала распространяется равномерно по сечению, в том случае если материал имеет сплошную структуру и его магнитная проницаемость постоянна.

Сплошность материала нарушается в тех местах, где локализуются дефекты. Сопротивление, оказываемое магнитному потоку со стороны среды с дефектами, во много раз больше, поэтому поток отклоняется и словно обтекает дефект. В этом месте магнитное поле сгущается и частично выходит за пределы изделий, распространяется по воздуху, а затем входит обратно в изделие за дефектом. Данное

явление изображено на рисунке 8. В тех местах, откуда выходит магнитный поток и куда он входит, образуются магнитные полюса, которые к тому же остаются и после снятия намагничивающего поля за счет остаточной намагниченности.

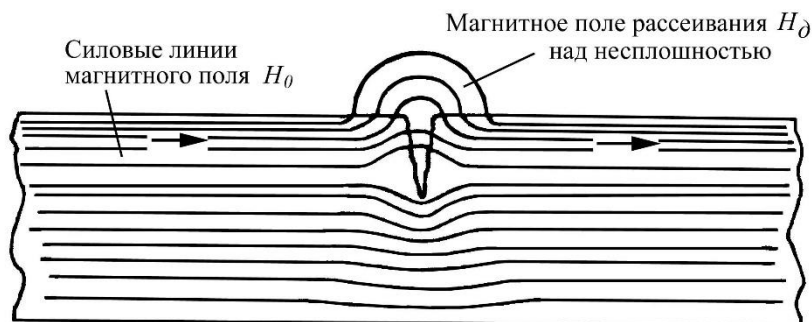


Рисунок 8 – Силовые линии в объекте с дефектом

Магнитное поле, возникающее над дефектом, называется полем рассеяния. Если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока, то эффект рассеяния проявляется максимально. Поэтому контролируемые сварные соединения намагничивают и в продольном, и в поперечном направления относительно оси шва. Такой подход позволяет выявить дефекты, расположенные как вдоль, так и поперек шва, а также расположенные под небольшим углом к нему.

Таким образом, контроль магнитными методами заключается в обнаружении полей рассеяния, образуемых дефектами, расшифровке характера и величины выявленных дефектов. Магнитные методы контроля классифицируются по регистрирующим способам, которых насчитывается более шести: магнитопорошковый, магнитографический, магнитоферрозондовый, индукционный и магнитополупроводниковый. Распространение в области неразрушающего контроля сварных соединений нашли наибольшее применение только два метода: магнитопорошковый, магнитографический.

Для выявления поверхностных дефектов вроде микротрещин и трещин применяют капиллярный метод контроля. Такие дефекты выходят на поверхность изделия, к ним также относятся узкие непровары и мелкие поверхностные поры, которые сложно обнаружить во время внешнего осмотра.

В особенности данный метод неразрушающего контроля важен для выявления дефектов в ответственных сварных соединениях из жаропрочных,

аустенитных нержавеющей и жаростойких сталей, алюминия, латуни, свойствами которых ограничены возможности использования других методов.

Поверхностные дефекты имеющие размеры микроскопического раскрытия и микроскопической протяженности (с соотношением не более 1:10) имеют свойства капилляров. В соответствии с этим, и метод, с помощью которого обнаруживают такие дефекты носит название капиллярный.

В основе капиллярного метода лежит способность индикаторной жидкости проникать в полость поверхностных и сквозных дефектов материала объектов контроля. После проникновения индикаторной жидкости получают индикаторные следы визуальным способом или при помощи преобразователей.

Метод служит для выявления поверхностных и сквозных несплошностей в объекте контроля, а также для возможности определения их протяженности, ориентации и расположения на поверхности (для дефектов типа трещин, имеющих протяженность).

При помощи изменения контрастностей фона и изображения поверхностных дефектов и происходит выявление дефектов. Для этого используются специальные светоконтрастные и цветоконтрастные индикаторные жидкости – пенетранты.

На предварительно очищенную поверхность от загрязнений наносят пенетрант, затем некоторое время выдерживают для того чтобы дать жидкости заполнить полость дефекта. Далее удаляется избыток индикаторной жидкости и наносится проявляющий состав. Жидкость, которая осталась внутри дефекта, образует, со временем, на фоне проявителя рисунок, по которому в свою очередь и судят о наличии дефекта. Основные этапы контроля капиллярным методом показаны на рисунке 9.

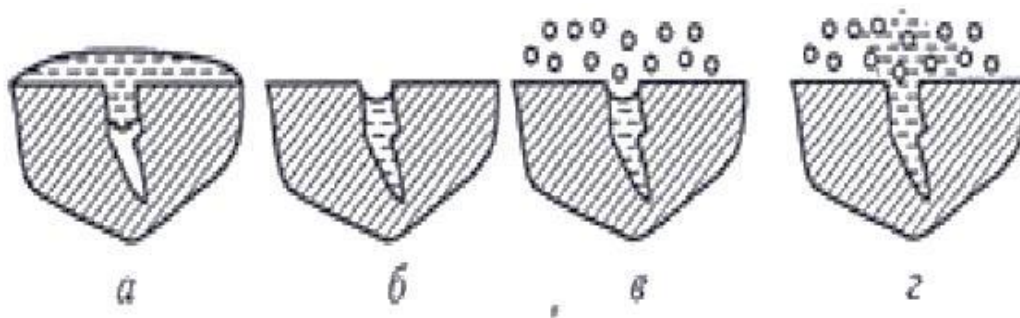


Рисунок 9 – Этапы капиллярного контроля:

a – наносится индикаторная жидкость; b – удаляются ее излишки; c – наносится проявляющий состав; d – образующиеся пятна свидетельствуют о дефектах

2.1. Ультразвуковой метод

Одним из наиболее широко распространенных методов выявления внутренних дефектов сварных швов является УЗК. Этот метод основан на возможности ультразвуковых волн проникать в материалы, отражаться и преломляться во время попадания на границу раздела двух материалов с различной звукопроницаемостью.

При помощи ультразвука можно обнаружить внутренние макроскопические дефекты литья, поковок, сварки (трещины, раковины, шлаковые включения, газовые поры, непровары и т.д.).

Ультразвук – это упругие механические колебания частиц среды, частота которых располагается за пределами слышимого диапазона, т.е. от 20 кГц до 500 МГц.

Ультразвуковые волны могут быть получены механическим, термическим, пьезоэлектрическим и другими методами. В ультразвуковой дефектоскопии металлов и сварных соединений чаще используется пьезоэлектрический способ получения ультразвука.

Некоторые природные кристаллы, например, кварц, турмалин, сегнетова соль и другие обладают пьезоэлектрическим эффектом. Сущность пьезоэлектрического эффекта состоит в том, что если из этих кристаллов определенным образом вырезать пластинку, то при сжатии или растяжении этой пластинки на ее поверхности появляется электрический заряд: на одной стороне – положительный, на другой – отрицательный. Для равномерного распределения электрических зарядов по поверхности кристаллов их тщательно шлифуют, полируют и покрывают металлом.

Если на пьезопластину воздействуют упругие механические колебания (ультразвуковые волны), то на ее электродах возникает переменное электрическое напряжение с частотой действующих на нее ультразвуковых колебаний. Пьезоэффект обратим, т.е. если к пластине, вырезанной из кристалла, подвести

переменное напряжение, то она начинает колебаться с частотой подводимого напряжения. Если частота подводимого напряжения выше 20 кГц, то пластинка, колеблясь, будет излучать УЗ волны, причем их направление перпендикулярно поверхности, к которой подводится напряжение. В первом случае это называют прямым, а во втором – обратным пьезоэффектом. Природные кристаллы в УЗ дефектоскопии из-за сложности обработки заменяются искусственными, которые изготавливаются методом прессования и спекания, чаще всего из порошка титаната бария или цирконат титанита свинца.

Ультразвук распространяется в однородной среде в виде направленной волны, которая при больших частотах подчиняется законам светового луча, т.е. она отражается, преломляется на границе разнородных сред, испытывает влияние интерференции и дифракции.

Волны отражаются от дефекта только в том случае, если их длина соизмерима с дефектом или больше. В противном случае УЗ-волны огибают небольшую несплошность без существенного отражения. Следовательно, увеличение чувствительности метода требует применения волн возможно меньшей длины.

2.2. Радиационный метод

Радиационная дефектоскопия основана на просвечивании объектов ионизирующим излучением с последующей регистрацией и анализом прошедшего излучения различными детекторами.

В структурную схему радиационного контроля входят три основных элемента:

- источник ионизирующего излучения;
- контролируемый объект (сварное соединение);
- детектор, регистрирующий дефектоскопическую информацию.

Структурная схема радиационного контроля проиллюстрирована на рисунке

10.

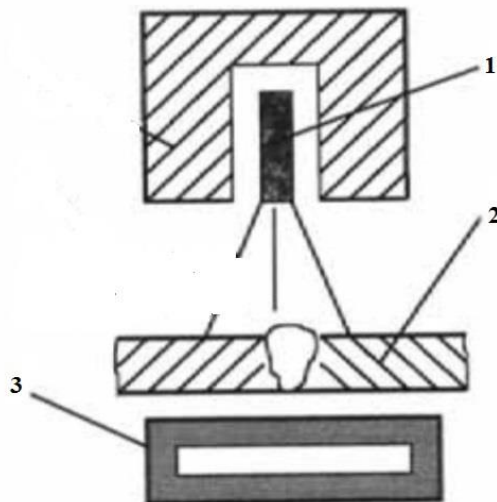


Рисунок 10 – Схема радиационного контроля:

1 – рентгеновский излучатель; 2 – объект контроля; 3 – детектор

Проходя через вещество изделия, ионизирующее излучение ослабевает, это связано с поглощением и рассеиванием излучения в материале объекта. То насколько ослабнет излучение, зависит от плотности и толщины объекта контроля, а также от энергии самого излучателя. Интенсивность излучения при прохождении его через газовую пору ослабляется меньше, т.к. толщина изделия в этом месте меньше. При прохождении излучения, например, через вольфрамовое включение, возникшее при аргонодуговой сварке, интенсивность его резко снижается. Другими словами, излучение, прошедшее за объект контроля несет в себе информацию о внутренней структуре просвеченного объекта, которая представлена в виде теневого радиационного изображения.

2.2.1. Схемы просвечивания

На рисунках 11-13 приведены основные схемы просвечивания сварных соединений (стыковых и угловых) нефтепроводов, технологических и вспомогательных трубопроводов. На рисунках используются следующие обозначения: *Ии* и *Пс* – источник излучения и принимающее устройство.

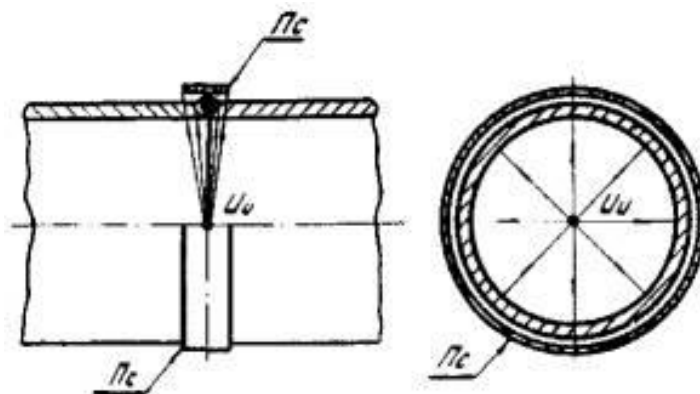


Рисунок 11 – Панорамная схема просвечивания

Кольцевые швы трубопроводов, переходов и трубных узлов (приварки тройников, отводов) просвечивают по одной из четырех схем в зависимости от геометрических размеров труб, типа и активности применяемого источника излучения [6].

Кольцевые сварные швы свариваемых изделий, в которых возможен свободный доступ внутрь, контролируют за одну установку излучения по схеме, представленной на рисунке 11 (панорамное просвечивание). В дальнейшем нас будет интересовать именно эта схема просвечивания, так как она более актуальна, для решаемых проблем отрасли, озвученных в данной дипломной работе.

Наиболее распространенной схемой панорамного просвечивания является установка внутри трубы источника излучения на подвижной платформе, называемой кроулером. Приемник излучения, при этом, устанавливается с внешней стороны трубы. Чаще всего, в качестве приемника выступает рентгеночувствительная пленка каким-либо способом закрепленная на объекте контроля.

Перспективным является использование в качестве приемника рентгеновского излучения сцинтилляторных детекторов, например, на базе кристаллов цезий-йода. Такие приемники построены аналогично матрице цифрового фотоаппарата и преобразуют теневое изображение объекта контроля в цифровую форму, более удобную для обработки и хранения.

Технические характеристики кроулера выбираются, исходя из следующих параметров:

- диаметр трубы;

- толщина стенки;
- чувствительности контроля;
- типа приемника ионизирующего излучения;
- источника ионизирующего излучения;
- темпов сооружения линейной части.

Сварные соединения трубопроводов, к которым по каким-либо причинам невозможен доступ с внутренней части, контролируется по схеме, представленной на рисунке 12 (фронтальное просвечивание). Просвечивание таких швов осуществляется через две стенки трубы за три и более установки источника ионизирующего излучения. При такой компоновке источник и приемник излучения располагаются на внешней стороне трубы в противофазе друг к другу. Излучатель настраивается таким образом, чтобы в фокус попадало теневое изображение противоположной стороны трубы и шва. Находящаяся перед излучателем часть шва размывается и на приемнике не регистрируется.

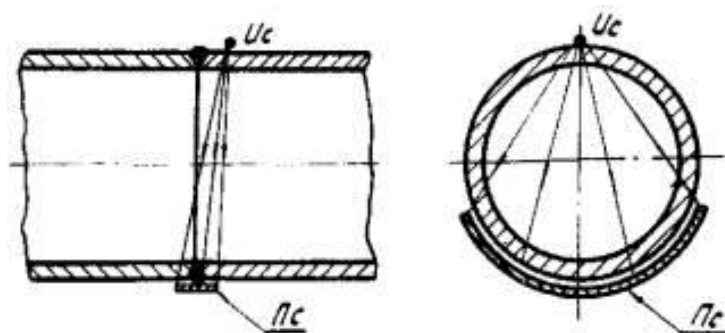


Рисунок 12 – Фронтальная схема просвечивания

Основные параметры просвечивания по схеме, представленной на рисунке 12:

- источник излучения располагается непосредственно на трубе;
- угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва не должен превышать 5° ;
- фокусное расстояние должно равняться наружному диаметру трубы;
- минимальное количество экспозиций равно трём. При каждой экспозиции источник излучения следует смещать на угол не более 120° .

По схеме просвечивания «на эллипс» (рисунок 13) контроль проводят, как правило, за две установки, смещая источник излучения на 90° .

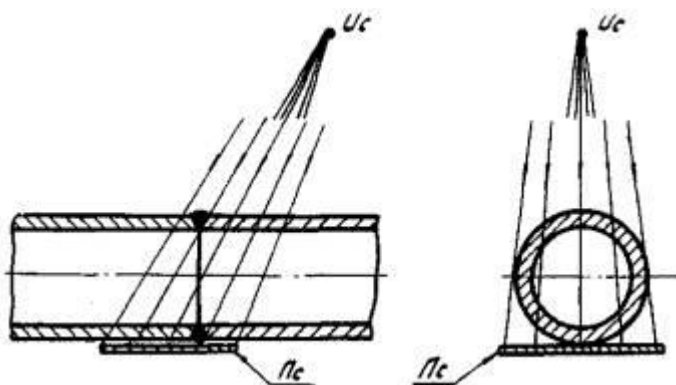


Рисунок 13 – Схема просвечивания «на эллипс»

Как правило, специальной подготовки поверхности сварного соединения перед проведением радиографического контроля не требуется. Однако, в тех случаях, когда неровности поверхности сварного шва, брызги металла могут повредить радиографическую пленку, эта поверхность должна быть зачищена.

После устранения дефектов сварного шва, выявленных по результатам предшествующего контроля, производят разметку сварного соединения. Сварной шов размечают на отдельные участки, задают начало и направление нумерации в определенной последовательности для каждого снимка [8].

На контролируемых участках должны быть установлены эталоны чувствительности так, чтобы на каждом снимке было полное изображение эталона. При панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений допускается устанавливать эталоны чувствительности по одному на каждую четверть окружности сварного соединения.

Для измерения глубины дефекта по его потемнению на радиографическом снимке методом визуального или инструментального сравнения с эталонными канавками или отверстиями используют канавочные эталоны чувствительности или имитаторы. При определении чувствительности контроля расчет необходимо вести по той толщине стенки трубы, на которую установлены эталоны чувствительности [11].

2.2.2. Рентгенографический кроулер

Рентгенографический кроулер – это самоходный автоматический комплекс, используемый для контроля качества сварных соединений различных трубопроводов. Является полностью независимым экспонирующим устройством, которое не нуждается в проводной связи и способно принимать команды для перемещения, остановки и снятия рентгенограммы извне при помощи изотопного и магнитного устройств.

Принцип действия основан на преобразовании рентгеновского излучения, прошедшего через объект контроля, в цифровое изображение. Излучение, генерируемое рентгеновским аппаратом, воздействует на матрицу плоскопанельного детектора, который состоит из сцинтилляционного экрана и кремниевой фотодиодной матрицы. Под воздействием рентгеновского излучения сцинтилляционный экран начинает светиться. Световой поток попадает на кремниевую фотодиодную матрицу детектора, в которой осуществляется преобразование силы света в электрический ток, сигнал которого усиливается и преобразуется в цифровой код. В электронной схеме детектора формируется и передается на компьютер блока регистрации и управления цифровое изображение объекта контроля.

Как конструкция, рентгеновский кроулер представляет собой комплекс, получающий питание от батарей и состоящий из отдельных модулей, предназначенный для проведения контроля труб различных диаметров. Управление кроулером при помощи внешних управляющих устройств сведено к минимуму благодаря возможной предварительной настройке, позволяющей приспособить кроулер для работы в любом трубопроводе.

Применение в современных устройствах микропроцессорной технологии, обеспечивает возможность высокой производительности, надежности и простоты работы с аппаратом. Размещение внутри трубы позволяет провести контроль кольцевого сварного шва за одну установку, в то время как, используя внешние аппараты, необходимо провести от двух и более, для больших диаметров труб, установок аппарата. Кроме того, используя кроулер нет необходимости

переставлять рентгеновскую трубку на каждом сварочном шве, а качество полученного изображения повышается, т.к. просвечивается только одна стенка трубы.

На рисунке 14 схематично изображен чертеж кроулера, расположенного внутри трубопровода, поясняющий принцип его работы.

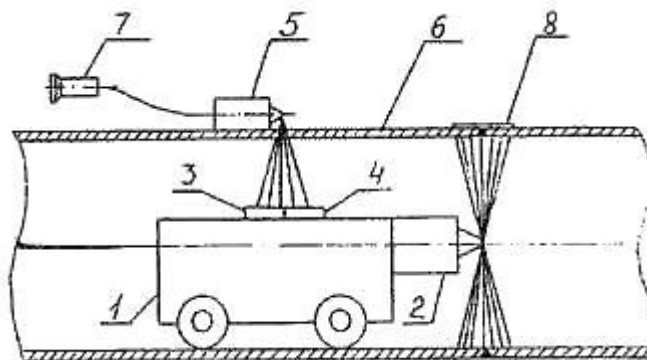


Рисунок 14 – Схема рентгеновского кроулера:

1 – самоходная тележка; 2 – панорамный аппарат; 3, 4 – ионизационные счетчики;
5 – командный аппарат; 6 – труба; 7 – выносной пульт; 8 – детектор излучения

В качестве приемника проникающего излучения командного аппарата в кроулере используется два ионизирующих счетчика. Перед началом движения самоходной тележки, включается с помощью выносного пульта командный аппарат. Благодаря специальному коллиматору он имеет узконаправленную диаграмму излучения строго внутрь трубы. При попадании излучения командного аппарата на детектор 3, кроулер замедляет свое движение, а при срабатывании детектора 4, он останавливается в положении, когда фокус излучения панорамного аппарата находится на линии, перпендикулярной контролируемому шву трубы и рентгеновской пленке [14].

2.3. Системы орбитального перемещения для контроля кольцевых сварных швов

Большим потенциалом развития обладают технологии с применением автоматизированных систем орбитального перемещения для контроля кольцевых сварных швов трубопроводов. Подобные технологии способны в значительной степени автоматизировать процесс, что позволит сократить затраты времени на проведение работ. Наряду с этим, внедряя в качестве приемника рентгеновского

излучения, прошедшего через контролируемый объект, к примеру, методы цифровой радиографии или приемники, преобразующие радиационное излучение в электрические сигналы, можно опять же существенно ускорить процесс и добиться более удобных и современных методов документирования результатов исследования.

К основным параметрам, характеризующим работоспособность таких автоматизированных систем орбитального перемещения, относятся скорость контроля, напрямую зависящая от скорости передвижения детектора ионизирующего излучения по диагностируемому участку трубопровода; грузоподъемность и прижимная сила, необходимая для удержания каретки-детектора. Данное усилие обеспечивается способом крепления конструкции к поверхности трубы.

Уже существуют такого рода системы орбитального перемещения оборудования для рентгенографии, построенные на различных принципах. Известно оборудование компании «ТРАНСКАН», позволяющее перемещать излучатель и рентгенографическую панель по специальным поясам (бандажам), охватывающим трубу в районе исследуемого шва.



Рисунок 15 – Портативный комплекс цифровой радиографии «ТРАНСКАН»

Такие схемы компоновки являются энергоэффективными, поскольку значительно снижают трудо- и энерго-затраты при монтаже оборудования и позволяют эксплуатировать источники излучения в оптимальном режиме.

Использование пояса создает определенные сложности, так как, пояса обычно имеют определенную длину, соответствующую только одному типоразмеру трубы и для полноценного контроля необходимо иметь полный комплект поясов.

Существует конструкция механизма орбитального перемещения, реализованная на так называемых магнитных колесах.

В результате проведения патентного поиска, касательного магнитных колес, было обнаружено изобретение Клавдиева М.С. и Лунина А.И. «Магнитное колесо для перемещения по произвольно ориентированной в пространстве поверхности из ферромагнитного материала».

Изобретение относится к колесам транспортных средств, предназначенным для перемещения по произвольно ориентированной в пространстве поверхности из ферромагнитного материала.

Известно магнитное колесо, содержащее шайбообразный магнит, заключенный между двумя полюсными наконечниками, находящимися в контакте с опорной поверхностью (авторское свидетельство СССР № 656900, кл. В 60 В 15/26, 1976).

Недостаток колеса – большое сопротивление в зоне контакта с опорной поверхностью и незначительная сила сцепления.

Наиболее близким к изобретению является магнитное колесо для перемещения по произвольно ориентированной в пространстве поверхности из ферромагнитного материала, содержащее магниты с кольцеобразными полюсными наконечниками, установленные на оси колеса (патент США № 3960393, кл. 195-34, 1977 – прототип).

Недостатком известного колеса является низкая проходимость по поверхности переменной кривизны.

Цель изобретения – повышение проходимости по поверхности переменной кривизны.

Указанная цель достигается тем, что в магнитном колесе для перемещения по произвольно ориентированной в пространстве, поверхности из ферромагнитного материала, содержащем магниты с кольцеобразными полюсными наконечниками, установленные на оси колеса, между указанными магнитами и осью колеса по всей ее длине установлена упругая втулка, при этом полюсные наконечники, расположенные между смежными магнитами, выполнены из двух частей, связанных между собой с возможностью их относительного радиального перемещения посредством выступов и впадин, выполненных на их торцах.

Кроме того, смежные магниты установлены одноименными полюсами один навстречу другому.

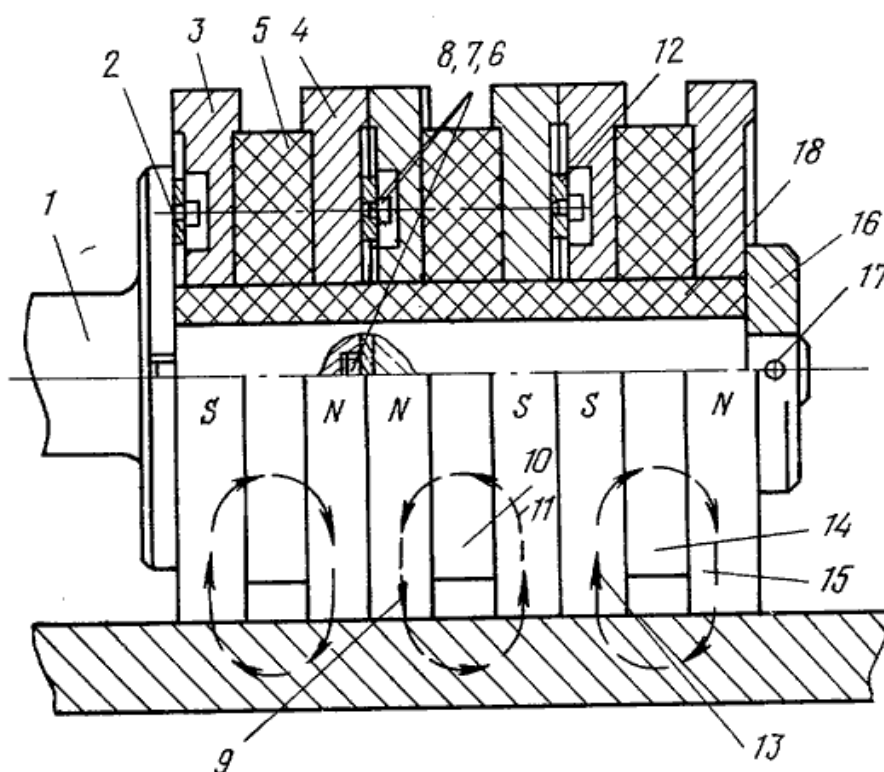


Рисунок 16 – Чертеж предложенного колеса в разрезе

Колесо содержит ось 1, крестовину 2, полюсные наконечники 3 и 4 и вклеенные между ними магнит 5, крестовину 6 с выступами 7 и 8, западающими в радиальные канавки смежных полюсных наконечников 4 и 9 для передачи крутящего момента, магнит 10, вклеенный между полюсными наконечниками 9 и

11, крестовину 12, передающую крутящий момент от полюсного наконечника 11 на полюсный наконечник 13, магнит 14, полюсный наконечник 15, ограничительную втулку 16, штифт 17 и упругую втулку 18 из микропористой резины для обеспечения радиального смещения магнитов и магнитопроводов.

Магнитная цепь замыкается через ферромагнитную поверхность (показана пунктиром со стрелками).

Колесо работает следующим образом: магнитный поток сцепления проходит через тело каждого из магнитов 5, 10 и 14, через прилежащие к ним полюсные наконечники 3 и 4, 9 и 11, 13 и 15 соответственно, а в зоне контакта полюсных наконечников с поверхностью перемещения замыкается в ферромагнитном материале поверхности.

При этом магнитный поток претерпевает поворот на 90° и пондеромоторная сила прижимает полюсные наконечники к опорной поверхности.

Благодаря упругой связи магнитов и полюсных наконечников с осью колеса, выполнению полюсных наконечников, расположенных между смежными магнитами, из двух частей с возможностью их относительного радиального перемещения и встречному расположению полюсов магнитов создается возможность их перемещения в радиальном направлении относительно оси колеса в соответствии с профилем поверхности, что улучшает адаптацию колеса и равномерность распределения нагрузки на элементы колеса.

Крутящий момент передается с помощью крестовин 2, 6 и 12, имеющих для этой цели выступы 8 и 7, западающие в радиальные канавки смежных полюсных наконечников.

Величина взаимных радиальных смещений полюсных наконечников определяется профилем пути и обеспечивается упругостью втулки 18, одновременно обеспечивается и мягкость хода.

Изобретение позволяет повысить грузоподъемность транспортных средств, уменьшить их габариты и использовать их в труднодоступных местах.

Описанная конструкция колеса позволяет создавать механизмы орбитального перемещения, не нуждающиеся в дополнительных опорных

элементах (поясах, цепях, ремнях), поскольку, механизм опирается непосредственно на трубу. Единственным ограничением является использование таких механизмов на трубах из ферромагнитных материалов.

Подобная схема была реализована в механизме орбитального перемещения беспленочной автоматизированной рентгенометрической системы «БАРС» и оборудования компании «JME».



Рисунок 17 – Беспленочная автоматизированная рентгенометрическая система «БАРС»

Однако, такая схема используется для проведения ультразвукового контроля, оборудование для которого отличается меньшими массогабаритными характеристиками по сравнению с рентгеновскими излучателями.

Тем не менее, магнитные колеса и другие специфические варианты удержания полезной нагрузки на орбитальной траектории в силу ряда обстоятельств пока не получили широкого распространения. В настоящее время наиболее известны варианты с фиксацией на поясе (сварочные полуавтоматические головки «CRC-Evans», рентгенографический комплекс «Транскан») и с прижатием гибкой связью (газовые резаки «Орбита» на базе быстроразъемной цепи Эварта, машина термической резки труб «Zinser»).

В первом варианте механизм орбитального перемещения представляет собой несущую платформу, подвижно фиксируемую на направляющем поясе. Фиксация механизма на опорном поясе обеспечивается подвижными прижимными роликами с ребордами. Платформа представляет собой узел, состоящий из двух шарнирно соединенных рам с прижимными, и ведущим роликами. Рамы подшипниковых узлов могут качаться на определенный угол друг относительно друга. Для работы с различными типоразмерами труб механизм имеет возможность регулировки угла раскрытия рам. Требуемый угол фиксируется с помощью специальных настроечных шаблонов, для каждого диаметра трубы используется свой шаблон. Движение платформы обеспечивается с помощью ведущего ролика повышенной износостойкости и мотор-редуктора. Усилие прижатия ведущего ролика регулируется для достижения величины, исключающей случайное проскальзывание относительно торцевой поверхности пояса. Ведущий ролик, вращаясь, заставляет платформу перемещаться относительно пояса. Такая схема имеет свои преимущества, однако, отличается высокой степенью точности деталей и узлов и сложной настройкой.

Схема с гибкой связью выглядит более предпочтительной из-за простоты конструкции и настройки оборудования. В общем виде схема выглядит следующим образом. Подвижная платформа механизма перемещения опирается непосредственно на трубу и прижимается к ней быстросъемной цепью специальной конструкции, известной как цепь Эварта. Помимо прижатия, цепь выполняет функцию направляющего опорного элемента для тягового звена трансмиссии механизма. На платформу монтируется полезная нагрузка – электронные блоки системы управления механизмом перемещения с аккумуляторной батареей и рентгенографическая панель с системой управления и коммутации. Кроме того, платформа может комплектоваться различными вариантами оборудования, позволяющего осуществлять съемку теневого изображения объекта контроля с просвечиванием через одну, либо две стенки трубы. В таком варианте платформа представляет собой опорный элемент с узлами крепления полезной нагрузки. Натяжение цепи осуществляется штатным

натяжным устройством. Движение механизм получает от мотор-редуктора, вращающего тяговую звездочку, и тем самым, заставляющего механизм перемещаться относительно неподвижной цепи.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Константинову Гаврилу Александровичу

Инженерная школа	природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	нефтегазового дела
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. 2. Стоимость электроэнергии – 5,8 руб. кВт•ч – для юр. лич.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Согласно российскому законодательству по оплате труда: 30% премии на заработную плату; 1,3 – районный коэффициент для г. Томска.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений (27,1% отчисления на социальные нужды).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. 2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований. 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Расчет основной заработной платы исполнительской темы. 2. Расчет отчислений на социальные нужды. 3. Отчисления во внебюджетные фонды. 4. расчет электроэнергии и прочих расходов. 5. Накладные ресурсы. 6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.
3. Ресурсоэффективность	1. Определение интегрального показателя эффективности научного исследования. 2. Расчет показателей ресурсоэффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, в том числе таблиц):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений.
2. Матрица SWOT.
3. Календарный график проведения НИ.
4. Бюджет проекта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Константинов Гаврил Александрович		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать научно-исследовательскую работу;
- рассчитать бюджет затрат на исследования;
- произвести оценку научно-технического уровня исследований и оценку рисков.

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов является первоочередной задачей для нефтегазовых предприятий. Своевременное проведение мониторинга текущего технического состояния трубопроводов позволяет обнаруживать зарождающиеся и развивающиеся дефекты стенки трубопровода, определять остаточных ресурс трубопровода, тем самым предотвращать возникновение аварийных ситуаций и инцидентов, а также уменьшать затраты на ликвидацию последствий аварий.

Данная выпускная квалификационная работа предполагает разработку рекомендаций по использованию метода фиксации подвижной платформы для транспортировки детектора ионизирующего излучения на основе механизма с тяговой цепью.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

К научно-исследовательским работам относятся работы поискового, теоретического и экспериментального характера, которые выполняются с целью расширения, углубления и систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований


4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование (таблица 1).

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка

		Способ крепления самоходного дефектоскопа к трубопроводу		
		Без специальных приспособлений	Металлический пояс	Магнитные колеса
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

 – ПАО «Газпром нефть»;

 – ПАО «Татнефть»;

 – ООО «КомсомольскНефть».

Карта сегментирования рынка показывает, что при проведении неразрушающего контроля рентгеновским методом кольцевых сварных соединений трубопровода большинство компаний использует оборудование, позволяющее перемещать излучатель и рентгенографическую панель по специальным металлическим поясам (бандажам), охватывающим трубу в районе исследуемого шва. Такие схемы компоновки являются энергоэффективными, поскольку значительно снижают трудо- и энергозатраты при монтаже оборудования по сравнению со способом креплением без специальных приспособлений, также позволяют эксплуатировать источники излучения в оптимальном режиме. Использование пояса создает определенные сложности, так как, пояса обычно имеют определенную длину, соответствующую только одному типоразмеру трубы и для полноценного контроля, необходимо иметь полный комплект поясов.

Известно еще одно решение, позволяющее реализовать орбитальное перемещение сканера вокруг объекта контроля. В таком исполнении подвижная платформа механизма перемещения сканера опирается непосредственно на трубу, при этом, платформа прижимается к трубе гибкой связью (тяговой цепью). Схема с гибкой связью выглядит более предпочтительной из-за простоты конструкции и настройки оборудования.

Поэтому разработка оптимальной конструкции опорной каретки на основе

механизма с тяговой цепью орбитально перемещающегося самоходного дефектоскопа имеет важное значение и позволит усовершенствовать проведение неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистрального трубопровода рентгеновским методом.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Простота конструкции	0,12	5	3	4	0,60	0,36	0,48
2. Универсальность использования	0,11	5	4	5	0,55	0,44	0,55
3. Надежность	0,11	5	4	4	0,55	0,44	0,44
4. Легкость установки	0,12	5	3	4	0,60	0,36	0,48
5. Скорость контроля	0,12	5	4	4	0,60	0,48	0,48
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость конструкции	0,12	5	4	4	0,60	0,48	0,48
3. Уровень проникновения на рынок	0,08	2	5	4	0,16	0,40	0,32
3. Себестоимость единичного контроля	0,11	5	4	4	0,55	0,44	0,44
4. Трудоемкость контроля	0,11	5	3	4	0,55	0,33	0,44
Итого:	1	42	34	37	4,76	3,73	4,11

Б_Ф – крепление каретки детекторного модуля самоходного дефектоскопа к трубопроводу при помощи цепи;

Б_{к1} – крепление каретки детекторного модуля самоходного дефектоскопа к трубопроводу при помощи металлического пояса;

Б_{к2} – крепление каретки детекторного модуля самоходного дефектоскопа к трубопроводу при помощи магнитных колес.

Исходя из составленной оценочной карты, рассчитаем коэффициенты конкурентоспособности приведенных технических решений:

$$k_1 = \frac{K_{\Phi}}{K_{k1}} = \frac{4,76}{3,73} = 1,28; \quad (7)$$

$$k_2 = \frac{K_{\Phi}}{K_{k2}} = \frac{4,76}{4,11} = 1,16. \quad (8)$$

В результате анализа конкурентных технических решений, можно сделать вывод о том, что каретка на основе механизма с тяговой цепью обладает рядом существенных преимуществ (стоимость и простота конструкции, легкость установки, универсальность использования, высокая скорость контроля) по сравнению с конструкциями крепления оборудования при помощи металлического пояса или цепи.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:

С1. Простота конструкции (отсутствие дополнительных опорных элементов).

С2. Низкие трудо- и энергозатраты при монтаже оборудования.

С3. Невысокая стоимость конструкции.

Слабые стороны научно-исследовательского проекта:

Сл1. Затраты на дополнительные исследования.

Сл2. Ограничение, связанное с использованием упрощенных конструкций (которые могут привести к потере прочностных характеристик).

Возможности:

В1. Появление дополнительного спроса.

В2. Прогнозируемый специалистами рост цен на нефть.

Угрозы:

У1. Широкое распространение конкурентных технологий.

У2. Развитие альтернативных нефти источников энергии.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3, таблице 4, таблице 5, таблице 6.

Таблица 3 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	0	0	+
	B2	-	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C3.

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	+	-
	B2	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: B1Сл1.

Таблица 5 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	-	+	+
	У2	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1С2С3.

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	-	-
	У2	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 7).

Таблица 7 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Простота конструкции (отсутствие дополнительных опорных элементов). С2. Низкие трудо- и энергозатраты при монтаже оборудования. С3. Невысокая стоимость конструкции.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Затраты на дополнительные исследования. Сл2. Ограничение, связанное с использованием упрощенных конструкций (которые могут привести к потере прочностных характеристик).
Возможности: В1. Появление дополнительного спроса. В2. Прогнозируемый специалистами рост цен на нефть.	В1С3. 1. Выбирается стратегия минимизации затрат для повышения привлекательности планируемого товара для потребителей.	В1Сл1. 1. Положительный результат проведенных исследований может стать причиной дополнительного спроса на данный продукт в связи с преимуществами.
Угрозы: У1. Широкое распространение конкурентных технологий. У2. Развитие альтернативных нефти источников энергии.	У1С2С3. 1. Позиционирование товара с точки зрения его сильных сторон. 2. Использование преимуществ с целью повышения конкурентоспособности товара.	У2Сл1. 1. Поиск и реализация проекта в сфере деятельности, отличной от нефтегазовой.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ.

Работу выполняло два человека: руководитель проекта, исполнитель (студент). Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта, исполнитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	4	Проведение патентных исследований	Исполнитель

Продолжение таблицы 8

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка расчётной схемы	Исполнитель
	6	Построение программного кода в ПО MathCad	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов	Исполнитель
	8	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, исполнитель
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, исполнитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (9)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как

удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (10)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (11)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (12)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ожі}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель проекта	2	3
Календарное планирование работ по теме	1	3	1,8	Руководитель проекта, исполнитель	1	2
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	15
Проведение патентных исследований	3	6	4,2	Исполнитель	5	7
Разработка расчетной схемы	8	16	11,2	Исполнитель	12	15
Построение программного кода в ПО MathCad	10	20	14	Исполнитель	14	18
Анализ полученных результатов	1	2	1,4	Исполнитель	2	3
Оценка результатов исследования	4	8	5,6	Руководитель проекта, исполнитель	3	4
Составление пояснительной записки	10	20	14	Руководитель проекта, исполнитель	7	9

На основе таблицы 9 строим план график, представленный в таблице 10.

Таблица 10 – Календарный план график проведения НИР по теме

№ раб.	Вид работ	Исполн ители	T_{ki} , кал. Дн..	Продолжительность выполнения работ											
				Фев.		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение тех. задания	Р	3	<div></div>											
2	Календарное планирование работ по теме	Р, И	2	<div></div>											

- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.1 Прочие расходы

Материальные затраты и затраты на специальное оборудование в данном научно-техническом исследовании отсутствуют в связи с тем, что изготовление опытного образца не производится.

Для проведения научного исследования необходимо использование компьютера с установленным специальным программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера и специального программного обеспечения:

$$З = d_k + d_{по} = 25000 + 5000 = 30000 \text{ руб.}, \quad (13)$$

где d_k – стоимость компьютера;

$d_{по}$ – стоимость программного обеспечения.

Установка специального ПО для исследования и моделирования объекта производится бесплатно.

Таблица 11 – Прочие расходы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб..	Прочие расходы, (З _{пр}), руб.
Ручка	Шт.	4	40	160
Бумага	Шт.	200	3	600
Карандаш	Шт.	3	20	60
Итого:				820

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости

выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель проекта	1,8	1346	2422
2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта, исполнитель	1,8	1920	3456
3	Подбор и изучение материалов по	Исполнитель	12	574	6888
4	Проведение патентных исследований	Исполнитель	4,2	574	2410
5	Разработка расчетной схемы	Исполнитель	11,2	574	6429
6	Построение программного кода в ПО MathCad	Исполнитель	14	574	8036
7	Анализ полученных результатов	Исполнитель	1,4	574	804
8	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, исполнитель	5,6	1920	10752
9	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, исполнитель	14	1920	26880
Итого:					68077

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (14)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (15)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d \cdot 216} = \frac{44447 \cdot 10,4}{216} = 2140 \text{ руб}, \quad (16)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель проекта	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные	53	53
- праздничные	26	26
Потери рабочего времени:		
- отпуск	58	72
- невыходы по болезни	12	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	216	204

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_p; \quad (17)$$

$$Z_m = 26300 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 44447 \text{ руб},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{тс}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель проекта	26300	0,3	1,3	44447	2140	11	23540
Исполнитель	17000	0,3	1,3	28730	1465	51	74715
Итого $Z_{осн}$:							98255

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}; \quad (18)$$

$$Z_{доп} = 0,12 \cdot 23540 = 2825 \text{ руб};$$

$$Z_{доп} = 0,12 \cdot 74715 = 8966 \text{ руб},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}); \quad (19)$$

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot (23540 + 2825) = 7145 \text{ руб};$$

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot (74715 + 8966) = 22678 \text{ руб},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 № 212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст. 58 закона № 212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
	Исп. 1	
Руководитель проекта	23540	2825
Исполнитель	74715	8966
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	29823	

4.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	98255	Пункт 4.3.3
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11791	Пункт 4.3.4
3. Отчисления во внебюджетные фонды	29823	Пункт 4.3.5
4. Затраты на создание опытного образца	3700	Пункт 4.3.1
5. Прочие расходы	30820	Пункт 4.3.2
6. Бюджет затрат НТИ	174389	Сумма ст. 1-5

4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{физ}}^{\text{исп}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{174389}{174389} = 1, \quad (20)$$

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (21)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой. коэф.	Цепь	Металлический пояс	Магнитные колеса
1. Простота конструкции	0,15	5	3	4
2. Универсальность использования	0,15	5	4	5
3. Надежность	0,15	5	4	4
4. Легкость установки	0,20	5	3	4
5. Скорость контролч	0,15	5	4	4
6. Срок службы	0,20	5	4	4
Итого:	1	5	3,65	4,15

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности для крепления конструкции каретки детекторного модуля при помощи:

1) цепи:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 = 5;$$

2) металлического пояса:

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 = 3,65;$$

3) магнитных колес:

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 = 4,15.$$

В результате полученных расчетов показателя ресурсоэффективности для различных конструкций опоры каретки детекторного модуля, исходя из значения наибольшего коэффициента интегральности, можно сделать вывод о том, что крепление оборудования к трубопроводу при помощи магнитных колес является эффективным и сохраняет высокую конкурентоспособность

В ходе выполнения данной части выпускной квалификационной работы была проанализирована конкурентоспособность разрабатываемой конструкции каретки на основе механизма с тяговой цепью орбитально перемещающегося самоходного дефектоскопа для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистрального трубопровода рентгеновским методом.

На основе сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта был проведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ, равный 174389 руб., основная часть которого приходится на затраты по основной заработной плате исполнителей темы.

Данный раздел выполнялся на основе рекомендаций [17].

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Константинову Гаврилу Александровичу

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Тема ВКР:

Повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием, перемещаемым транспортными системами на основе механизма с промежуточной опорной поверхностью на основе механизма с гибкой связью	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является орбитально перемещающийся сканер самоходного дефектоскопа на основе механизма с тяговой цепью для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197 – ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017) // СПС «Консультант Плюс». - Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // СПС «Консультант Плюс» - ГОСТ 12.2.061-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Анализ выявленных вредных факторов, к которым относятся:</i> - Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - Высокое давление транспортируемой продукции; - Подвижные части производственного оборудования; - Повышенный уровень шума на рабочем месте; - Умственное перенапряжение; - Физические перегрузки. <i>Анализ выявленных опасных факторов:</i> - электрический ток. - пожаровзрывобезопасность.

3. Экологическая безопасность:	<p><i>Воздействие на атмосферу:</i></p> <p>– выброс перекачиваемого углеводородного сырья и иных загрязняющих веществ в результате образования сквозных отверстий, свищей в теле трубопровода.</p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i></p> <p>– в процессе идентификации дефектов по результатам диагностического обследования трубопроводов возможен выход скважинной продукции в грунтовые воды, либо водный объект, если авария произошла на подводном переходе.</p> <p><i>Воздействие на литосферу:</i></p> <p>– отходы внутритрубных отложений (например, парафины, механические примеси, продукты коррозии и т.д.), образовавшихся в результате очистки.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p><i>Возможные чрезвычайные ситуации могут быть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - пожар - стихийное бедствие - природное явление (сильные морозы) <p><i>Наиболее вероятные ЧС: природное явление (сильные морозы)</i></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Константинов Гаврил Александрович		

5. Социальная ответственность

Данная диссертационная работа посвящена исследованию особенностей процесса орбитального перемещения сканера кольцевых трубных швов.

В соответствии с ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [19] сканер кольцевых трубных швов относится к опасному производственному объекту. Как наружные методы НК, так и внутритрубная дефектоскопия трубопроводов подразумевают взаимодействие специалистов и приборов с опасными производственными объектами, в связи с чем возникает необходимость в строгом нормировании условий труда, проведении мероприятий по уменьшению воздействий вредных и опасных факторов на специалистов НК и окружающую среду.

Выполнен прогноз возможных негативных последствий производственной деятельности и охарактеризованы намеченные к реализации мероприятия для снижения негативного воздействия на компоненты окружающей среды, также проанализированы основные мероприятия, правила и требования соблюдения производственной и экологической безопасности при проведении диагностики трубопроводов.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля» [40], к проведению НК опасных производственных объектов допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, которые прошли медицинский осмотр и не имеют противопоказаний, и аттестованные по одному из трех уровней квалификации в независимых органах по аттестации персонала системы НК.

В соответствии с федеральным законом РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», специалисты НК сталкиваются с вредными условиями труда [41].

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливается на основании статей трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Законодательством предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации [41]:

- уменьшение количества рабочих часов до 36 часов в неделю и меньше (в зависимости от режима работы – вахтовый, постоянный);
- оплачиваемый отпуск, являющийся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней);
- надбавка за вредность в размере не меньше 4% от оклада;
- бесплатное лечение и оздоровление;
- выдача спецодежды и средств индивидуальной защиты.

Поскольку проведение НК осуществляется непосредственно на дефектном участке трубопровода, организация рабочей зоны выполняется в ходе подготовительных работ. При работе в котловане специалист НК обязан убедиться в качестве выполненных земляных работ и проверить наличие загазованности в воздухе рабочей зоны. Должен быть обеспечен удобный доступ к диагностируемому участку трубопровода.

Организация рабочей зоны зависит от применяемого метода НК, количества исполнителей работ и иных факторов.

Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03 [35] установлены требования, процедуры и условия ведения работ при проектировании, строительстве, реконструкции, эксплуатации, консервации и ликвидации производственных объектов; конструировании, изготовлении, ремонте машин, механизмов, других технических устройств; разработке технологических процессов; подготовке и аттестации работников; организации производства и труда; взаимодействии Госгортехнадзора России с организациями по обеспечению безопасных условий производства и рационального использования природных ресурсов.

Способ работы на предприятии – вахтовый.

Возраст сотрудников составляет от 18 до 55 лет.

Государственные гарантии и компенсации лицам, работающим в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, устанавливаются настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Для работников, выезжающих в районы крайнего Севера и приравненные к ним местности: устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях; предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих: в районах крайнего Севера – 24 календарных дня, в местностях, приравненных к районам крайнего севера, - 16 календарных дней.

Дополнительные гарантии и компенсации указанным лицам могут устанавливаться законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления, коллективными договорами, соглашениями, локальными нормативными актами исходя из финансовых возможностей соответствующих субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и работодателей.

Обработка персональной информации работника подразумевает соблюдение

определенных правил. Целью соблюдения правил является обеспечение прав и свобод гражданина и человека. Выполнять требования по обработке должны работодатель и его представитель, выполняющий эти обязанности. Требования к защите персональных данных работника установлены в 14 главе Трудового Кодекса РФ.

5.2 Производственная безопасность

В таблице 18 представлен перечень опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении диагностики трубопроводов методом рентгеновского неразрушающего контроля согласно ГОСТ 12.2.003-74 [28].

Таблица 18 – Опасные и вредные факторы при проведении диагностики трубопроводов

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Монтаж	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [66];
2.Поражение электрическим током. Электрическая дуга и металлические искры при сварке	+		+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 [71];
3.Повышенный уровень шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 [68]; СН 2.2.4/2.1.8.5 62-96 [69];

4. Пожаробезопасность	+	+	+	Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ [72]; ГОСТ 12.1.004-91 [73];
5. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СНиП 23-05-95 [67]

5.2.1 Анализ вредных факторов, возможных при проведении диагностики трубопроводов и мероприятия по их устранению

Работа с токсичными и вредными веществами

При диагностировании трубопроводов в котловане при их эксплуатации возникает опасность выхода вредных веществ в воздух рабочей зоны из оборудования и трубопровода, что может привести к отравлению исполнителей ремонтных работ.

Согласно ГН 2.2.5.552-96 [29], предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, которые могут появиться при проведении диагностики трубопроводов, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Углеводороды алифатические предельные C ₁ – C ₁₀	300	IV
Бензин – растворитель (в пересчете на углерод)	300	IV
Керосин (в пересчете на углерод)	300	IV

Сероводород в смеси с углеводородами C ₁ – C ₂	3	II
Нефть сырая	10	III
Углекислый газ	9000	IV

Мероприятия по снижению негативного воздействия вредных веществ на персонал:

- исключение источников появления вредных веществ (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры);
- применение газоанализаторов для контроля загазованности;
- применение принудительной вентиляции для снижения их концентрации в воздухе рабочей зоны;
- использование средств индивидуальной защиты (противогазы, респираторы, спецодежда, изолирующие костюмы, рукавицы, перчатки, очки, маски).

Повышенный уровень шума

Трубопроводы, в частности газоперекачивающие шлейфы-коллекторы D_н > 530 мм, являются источниками производственного шума, который оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека и результат его работы. Длительное воздействие шума снижает остроту слуха, может являться причиной его потери, изменяет кровяное давление, ухудшает зрение, нарушает координацию движений.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 [31], нормированный уровень шума – 80дБ. Для снижения негативного влияния уровня шума в рабочей зоне производят следующие мероприятия в соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 [32]:

- замена или модернизация оборудования для исключения шумоопасных источников или снижения интенсивности шумов от них;
- установка эффективных глушителей;
- применение эффективной звукоизоляции, кожухов;
- использование средств индивидуальной защиты. Согласно инструкциям по технике безопасности предприятия применяются вкладыши, представляющие собой мягкие тампоны, пропитанные смесью парафина и воска,

жесткие вкладыши из резины, звукоизолирующие наушники, звукоизолирующие шлемы.

Отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне

Операторы автоматизированных рентгеновских систем производят управление устройствами в мобильных автолабораториях. Для обеспечения высокой работоспособности и сосредоточенности специалистов в автолабораториях должны соблюдаться необходимые показатели микроклимата, такие как относительная влажность, интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, барометрическое давление, скорость движения и температура воздуха и т.д. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [33], на рабочем месте должна поддерживаться температура от +21 до +23 °С в холодное время года и от +22 до +24 °С – в теплое. Относительная влажность должна находиться в пределах 40÷60%. Чтобы обеспечить оптимальное сочетание параметров микроклимата, используют системы вентиляции и отопления.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Уровень освещения влияет не только на функционирование зрительного аппарата специалиста, но и на его физическое и психоэмоциональное состояние. При чрезмерном или же недостаточном освещении значительно снижается работоспособность производителя диагностических работ в связи с ухудшениями условий труда. Так, согласно европейскому стандарту EN 13018:2001, перед проведением визуально-измерительного контроля участка трубопровода должна быть обеспечена освещенность не менее 160 люкс для обзорного визуального контроля и не менее 500 люкс для локального визуального контроля.

Для компенсации недостаточной освещенности в светлое время суток используют комбинацию естественного и искусственного освещения, в темное время суток пользуются искусственным освещением согласно СП 52.13330.2011 [34]. В процессе идентификации обнаруженных дефектов и определения их параметров с применением методов НК используют источники местного освещения. Для этого применяются переносные светильники на аккумуляторе во взрывозащищенном исполнении.

Повышенный уровень ионизирующего излучения

При проведении радиографического контроля на строительстве магистральных трубопроводов во избежание поражения электрическим током и опасного воздействия на обслуживающий персонал ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под действием излучения, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, установленные следующими нормативными документами:

- «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП-72/80);
- «Нормами радиационной безопасности» (НРБ-76);
- «Правилами безопасности при транспортировке радиоактивных веществ» (ПБТРВ-73);
- «Санитарными правилами по радиоизотопной дефектоскопии» № 1177-74;
- «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»;
- «Правилам техники безопасности при строительстве магистральных трубопроводов»;
- «Инструкцией по безопасному проведению работ при радиоизотопной дефектоскопии в организациях и на предприятиях Миннефтегазстроя» (ВСН 2-88-77 Миннефтегазстрой);

Основные требования безопасности при производстве работ по радиографическому контролю приведены ниже.

Организации, где постоянно проводятся работы по радиографическому контролю, должны иметь разрешение на право производства данного вида работ, которое выдается местными органами санитарного надзора.

Помещения для радиографического контроля (в том числе дефектоскопические лаборатории), хранилища для радиоактивных веществ должны быть оборудованы согласно «Основным санитарным правилам работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений»

ОСП 72/80 и «Санитарным правилам по радиоизотопной дефектоскопии» № 1174-74.

Радиографический контроль и перезарядка радиоактивных источников должны проводиться с использованием специально предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры.

До начала эксплуатации рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов администрация организации (предприятия) обязана на основе ОСП-72/80 и НРБ-76 разработать инструкции по радиационной безопасности, устанавливающие действие персонала, порядок проведения работ по радиоизотопной дефектоскопии, учета, хранения и выдачи источников излучения, содержания помещений и т.д.

К работе по проведению радиографического контроля допускаются лица, прошедшие специальный медицинский осмотр, инструктаж по техника безопасности и сдавшие экзамен по безопасному ведению работ в установленном порядке.

Лица, временно привлекаемые к работам, связанным с использованием рентгеновских аппаратов гамма-дефектоскопов, должны быть обучены правилам безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения и допущены по медицинским показаниям.

Периодическая проверка знаний обслуживающим персоналом инструкций по технике безопасности и радиационной безопасности должна производиться не реже одного раза в год одновременно с периодическими проверками квалификации персонала.

Все имеющиеся в наличии рентгеновские аппараты и гамма-дефектоскопы, поступившие на предприятие, должны регистрироваться в соответствии с ОСП-72/80.

К моменту получения рентгеновских аппаратов, гамма-дефектоскопов администрация должна назначить ответственное лицо, следящее за учетом, хранением и врачей этого оборудования, а также назначить ответственного за радиационную безопасность и электробезопасность.

Перезарядка гамма-дефектоскопов (перемещение держателей с источниками из транспортно-перезарядных контейнеров в радиационные головки и обратно)

должна производиться в соответствии с требованиями ОСП-72/80 в специальных помещениях при наличии штатных дистанционных приспособлений заводского изготовления.

Хранение и перезарядка гамма-дефектоскопов с источниками вне специально оборудованных мест запрещается.

Переносные гамма-дефектоскопа следует хранить в специальных помещениях-хранилищах, которые закрываются под ключ и опечатываются.

Независимо от типа источника излучения и вида защиты предельно допустимая доза облучения в местах нахождения рабочего персонала не должна превышать величин, установленных НРБ-76.

В организациях, где проводятся работы с применением источников ионизирующего излучения, должен осуществляться дозиметрический контроль, который обеспечивает соблюдение норм радиационной безопасности и получение информации о дозе облучения персонала.

Данные радиационного контроля записывают в специальный журнал.

Индивидуальный контроль за дозой внешнего облучения ведется с помощью индивидуальных дозиметров.

При проверке принимаются наибольшие показания дозиметров.

Данные о дозах облучения (переоблучения) персонала и эффективности средств защиты необходимо немедленно сообщить органам местной СЭС и администрации организации, а также контролирующему санитарному врачу (по его требованию) для принятия мер к уменьшению доз облучения.

При аварийных ситуациях, когда произошло переоблучение работающих, дозу облучения D можно рассчитать по формуле:

$$D = \frac{8,4 \cdot M \cdot t}{r^2}, \quad (22)$$

где D – доза облучения, бэр;

M – гамма-эквивалент изотопа, мг-экв. радия;

t – время облучения, ч;

r – расстояние от источника, см.

Квартальная предельная допустимая доза облучения составляет 3 бэра.

При этом допускается увеличение дозы облучения кистей рук в 5 раз.

Предельно допустимая доза облучения дефектоскописта установлена 5 бэр в год, но не более 3 бэр за квартал [38].

Движущиеся машины и механизмы

В процессе установки внутритрубного снаряда-дефектоскопа возможен производственный травматизм рабочей бригады вследствие подвижных частей производственного оборудования, перемещений оборудования при монтаже и демонтаже, острых кромок и заусенцев на поверхностях оборудования, использования подъемных кранов для подачи дефектоскопа в камеру пуска и приема средств очистки и диагностики и т.д. Требования, предъявляемые к производственному оборудованию, подробно описаны в ГОСТ 12.2.003-74 [35]. Для предотвращения производственного травматизма рабочий персонал должен знать и соблюдать технику безопасности при работе с нефтегазовым оборудованием, а также быть обеспеченным необходимыми средствами индивидуальной защиты: рабочая одежда, перчатки, каски и т.д.

Поражение электрическим током

Источниками поражения от электрического тока при диагностике трубопроводов являются электрические привода для подачи питания на дефектоскопические приборы и устройства.

Причины поражения электрическим током: прикосновение к токоведущим элементам, ошибочные действия персонала, нарушение изоляции токоведущих элементов, метеорологические условия (удар молнии) и аварийные ситуации. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Требования, предъявляемые к электробезопасности производственных процессов, подробно описаны в ГОСТ Р 12.1.019.2009 [36].

Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий согласно ГОСТ 30852.19-2002 [37]:

- применение защитного зануления, защитного заземления, защитного отключения;

- обеспечение изоляции, ограждение и недоступность электрических цепей;
- использование предупредительных плакатов и знаков безопасности;
- установка молниеотводов;
- проведение инструктажей и обучения персонала безопасным методам работы с электроприборами;
- использование средств индивидуальной защиты: диэлектрических перчаток и бот, диэлектрических резиновых ковриков, инструментов с изолированными ручками.

Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При диагностировании дефектных участков трубопровода, находящегося в эксплуатации, основной опасностью является возможное разрушение трубопровода под действием транспортируемой продукции. Следствием аварии могут стать пожар, гибель людей, приведение оборудования в негодное состояние, утечка транспортируемого продукта, что также негативно отразится на окружающей среде.

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций и инцидентов проводят комплексное диагностирование технического состояния трубопроводов с целью обнаружения дефектов геометрии труб, потери металла и трещин в сварных швах. В случае аварии трубопровод должен быть немедленно остановлен и отключен до обнаружения причины аварии и ее устранения аварийной бригадой.

5.3 Экологическая безопасность

Воздействия объекта на атмосферу

Перекачиваемое по трубопроводам углеводородное сырье и иные загрязняющие вещества, содержащиеся в скважинной продукции, могут попадать в атмосферу в результате образования сквозных отверстий, свищей в теле трубопровода и выхода транспортируемой продукции в окружающую среду. Также загрязнение атмосферы происходит при плановых остановках объектов подготовки нефти и газа и опорожнение технологических трубопроводов.

Для защиты атмосферы от негативного воздействия токсичный и

загрязняющих веществ проводятся следующие мероприятия:

- проверка оборудования на прочность и герметичность;
- неукоснительное соблюдение согласованных технологических режимов работы оборудования;
- своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры;
- проведение диагностики трубопроводов на наличие утечек и их устранение.

Воздействия объекта на гидросферу

В процессе идентификации дефектов по результатам диагностического обследования трубопроводов возможен выход скважинной

продукции в грунтовые воды, либо водный объект, если авария произошла на подводном переходе.

Для предотвращения аварийных ситуаций и загрязнения гидросферы подводные переходы и трубопровод в целом должен быть продиагностирован методами внутритрубной дефектоскопии, с применением водолазных дефектоскопических работ и при помощи самодвижущихся робототехнических систем.

Воздействия объекта на литосферу

При подготовке трубопроводов к пропуску внутритрубных дефектоскопических снарядов производят очистку внутренней полости трубопровода с применением очистных скребков. После пропуски очистных скребков в камеру приема очистных средств поступают внутритрубные отложения (например, парафины, механические примеси, продукты коррозии и т.д.), которые являются возможным источником загрязнения литосферы. Также в результате ремонтных работ образуется большое количество отходов производства.

Поэтому для защиты литосферы от загрязнения все отходы подлежат селективному сбору и последующей утилизации в соответствии с руководящей документацией.

Анализ воздействия на селитебную зону

Нефтегазовые трубопроводы являются опасными производственными объектами, которые должны располагаться на некотором удалении от жилых зон и объектов жизнедеятельности населения с целью обеспечения безопасной эксплуатации трубопровода и минимизации последствий в случае аварийной ситуации или инцидента.

Согласно ГОСТ Р 55990-2014 [39], на этапе проектирования трасса трубопровода должна быть расположена на удалении не менее (при номинальном диаметре не более 300 мм):

- 150 м от населенных пунктов, предприятий и отдельных жилых зданий;
- 240 м от железнодорожных и автобусных станций и мостов;
- 150 м от автомобильных и железных дорог общего пользования.

Также для обеспечения безопасности и целостности трубопровода назначается охранная зона по 25 метров в каждую сторону относительно оси трубопровода. На оси трубопровода устанавливаются специальные информационные и запрещающие таблички на ответственных участках трассы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Чрезвычайные ситуации бывают различных типов: техногенного, природного и социального характера. ЧС природного характера на территории резервуарного парка могут возникнуть по различным причинам, например:

- Паводковые наводнения;
- Бури, ураганы, смерчи, шквалы, сильные метели;
- Сильный дождь, сильный снегопад, крупный град;
- Заморозки, засуха.

ЧС биолого-социального (антропогенного) характера состоят из ЧС,

связанных с изменением состояния литосферы – суши (почвы, недр, ландшафта), состояния и свойства атмосферы (воздушной среды), состояния гидросферы (водной среды), состояния биосферы, инфекционной заболеваемости людей, животных (в том числе и диких) и растений.

ЧС техногенного характера:

- транспортные аварии (катастрофы);
- пожары и взрывы;
- аварии с выбросом аварийно-химически опасных веществ.

Аварии могут привести к чрезвычайным ситуациям. Возможными причинами аварий могут быть:

- ошибочные действия персонала при производстве работ;
- отказ приборов контроля и сигнализации;
- отказ электрооборудования и исчезновение электроэнергии;
- старение оборудования (моральный или физический износ);
- коррозия оборудования;
- факторы внешнего воздействия (ураганы, удары молнией и др.).

Наиболее вероятным ЧС в нефтегазовой сфере является возгорание на производственном объекте, как частный случай техногенной ЧС. Его источником могут быть несчастный случай, халатность работников, неисправность электрооборудования, недостаточная герметичность в пожароопасных территориях производственного комплекса и другие причины.

В случае обнаружения подобной ЧС основными для работника являются следующие действия:

- если справиться с огнем за несколько секунд не удалось, нужно немедленно сообщить о пожаре по телефону в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- вызвать к месту пожара руководителя подразделения;
- принять посильные меры по эвакуации людей и тушению пожара.

Действия прибывшего к месту пожара руководителя подразделения:

- продублировать сообщение о пожаре в пожарную часть;
- привлечь к тушению добровольную пожарную дружину и поставить в

известность администрацию объекта;

- организовать спасение людей;
- при необходимости отключить электроэнергию, остановить работу агрегатов, перекрыть сырьевые, газовые и другие коммуникации;
- прекратить все работы на объекте;
- осуществлять руководство тушением пожара до прибытия подразделения пожарной команды, а затем действовать по указаниям руководителя тушением пожара.

В ходе выполнения раздела «Социальная ответственность» представлены анализ вредных и опасных факторов, которые, в свою очередь, влияют на состояние здоровья сотрудников при рабочем процессе. Практическая значимость полученных результатов важна для организации безопасных производственных условий.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы, связанной с исследованием особенностей процесса орбитального перемещения сканера кольцевых трубных швов на основе механизма с тяговой цепью, для оценки усилия прижатия была построена расчетная схема на основе которой был проведен расчет в программном обеспечении MathCad.

Таким образом, пользуясь возможностями программного продукта «MathCad» можно быстро, удобно и с высокой степенью точности определять распределение сил в нагруженной тележке. В результате полученных данных, можно проектировать механизм с тяговой цепью орбитального перемещения оборудования для неразрушающего контроля кольцевых трубных швов.

Результат выполнения исследования показал, что рассматриваемая компоновка механизма перемещения (с тяговой цепью) рентгенографического сканера имеет ряд преимуществ перед классической компоновкой.

Опорные элементы не испытывают повышенных нагрузок, конструкция такого механизма более проста. Механизм не нуждается в дополнительных настройках при установке на объект контроля, кроме регулировки усилия прижатия гибкой связью. Сама гибкая связь конструктивно проще направляющего пояса, более универсальна при работе с различной номенклатурой исследуемых труб и выгодно отличается по массо-габаритным характеристикам. Однако упрощение конструкции опорного элемента (в нашем случае гибкой связи) может привести к потере прочностных характеристик, так как в процессе работы к ней прикладываются значительные растягивающие усилия.

Список используемых источников

1. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учебное пособие для вузов, Е.А. Богданов. – М.: Высшая школа, 2006. – 279 с.
2. Маслов Б.Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учебное пособие, Б.Г. Маслов. – М.: Академия, 2008. – 272 с.
3. Ключев В.В. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т., В.В. Ключев. – 2-е издание, переработанное и исправленное. – М.: Машиностроение, 2006-2008.
4. Ермолов И.Н., Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов первого и второго уровня квалификации. Издание пятое, стереотипное. – М.: Высшая школа, 2006. – 208 с.
5. Назипов Р.А., Храмов А.С., Зарипова Л.Д. Основы радиационного неразрушающего контроля. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – 66 с.: ил.
6. РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов.
7. Труды сессии РАН и деловой программы форума «Территория NDT 2016» / Сборник научных трудов. – М.: Спектр, 2016. – 308 с.: ил.
8. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: учеб. пособие для инженерно-техн. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 368 с.
9. Ермолов И.Л., Мор Ф.Р., Подураев Ю.В., Шведов В.В. Мобильные роботы для инспекции и ремонта подземных трубопроводов: современное состояние и перспективы развития. Мехатроника. – М.: Высшая школа, 2000.
10. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей

эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и
нефтехимических производств. – М.: Машиностроение,
1999. – 163 с.

11. Пархоменко П.П., Сагомоян Е.С. Основы
технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 308 с.
12. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.:
Машиностроение, 1978. – 240 с.
13. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия – М.:
Металлургия, 1985. – 256 с.
14. Самоходные импульсные рентгеновские аппараты. –
[Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://www.spectroflash.ru/info/articles/288/299/>.
15. Березин В.Л. Сварка трубопроводов и конструкций. – М.:
Недра, 1983. – 328 с.
16. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т.
Т.
1 – 8-е изд., перераб. и доп. Под редакцией И.Н. Жестковой. М.:
Машиностроение, 2001. – 920 с.: ил.
17. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый
менеджмент и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие.
Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского
политехнического университета, 2014. – 36 с.
18. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и
определения.
19. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация
видов и методов.
20. ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий.
Магнитопорошковый метод.
21. ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий
радиационный. Термины и определения.
22. ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические

условия.

23. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.

24. ГОСТ Р 54907-2012. Техническое диагностирование.

Основные положения.

25. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

26. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

27. РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем.

28. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

29. ГН 2.2.5.552-96. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.

30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

31. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

32. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

33. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

34. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

35. ГОСТ 12.2.003-74. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

36. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

37. ГОСТ 30852.19-2002. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 20. Данные по горючим газам и парам, относящиеся к эксплуатации электрооборудования.

38. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.

39. ГОСТ Р 55990-2014. Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования.

40. ПБ 03-440-02. Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля.

41. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Chapter A

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Константинов Гаврил Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Федор Аркадьевич	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП;

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Макаровских Александра Викторовна	-		

Technical diagnostics of pipelines

Under operating conditions various external and internal exposures occur. As a result, material degradation, corrosion damage, cracks that occur on the surfaces of pipes and other types of defects grow and develop. Despite the fact that the design of pipelines with the use of codes and technologies, development and implementation must ensure the use of the assigned resource, eliminating the possibility of such defects cannot be achieved. In order to avoid serious consequences of growing defects, various studies are carried out; methods of non-destructive testing are applied [3].

The most universal method of non-destructive testing, which is used at almost all the stages of the products manufacture, is visual and measurement control.

Visually, the measuring control of objects (blanks, parts, semi-finished products) and welded joints is carried out at the following stages:

- input control;
- preparation of parts and assembly units;
- assembly of parts and assembly units for welding;
- welding process;
- control of finished welded joints and surfacing;
- post-repair stage;
- assessment of the state of the material and welded joints during the

operation of technical devices and structures, including after the expiration of the established period of their operation [4].

A leak is a through defect in a welded joint or structure of an object, the size of which serves to exit the product to the outside. As for defects, they are divided into primary and secondary defects. Primary defects are formed during the formation of a weld; these include flaws – through pores, elongated in the type of channels, hot cracks and lack of penetration with slag inclusions. Secondary defects are those that appear after some time after welding – fatigue and cold cracks, or, for example, flaws, formed under the influence of aggressive environment or dynamic load.

The method of leak detection is based on the use of a test or control substance as a working product, with the help of which a leak is detected and registered.

The minimum diameter of detectable channels in millimeters determines the degree of sensitivity of the method.

The passage of a liquid or gas through a leak obeys the laws of hydrostatics and hydrodynamics. In this case, the viscosity and molecular weight of the control (trial) substance should be taken into account, since the average diameters of the leak channels are very small [5].

Various gases and liquids are used as a test substance in various methods. Test gases are: air, nitrogen, helium, haloids, ammonia, carbon dioxide, or mixtures of these gases. Test liquids are: water, kerosene, solutions, penetrants and others.

The method of non-destructive testing based on registration of changes in the interaction of the test object and the electromagnetic field is called magnetic. For the purposes of the method, an extensive spectrum of electromagnetic fields is used, ranging from constant electric and magnetic fields to alternating fields with a frequency of tens of MHz.

Using this method, surface and subsurface defects of welded joints are determined, including discontinuity flaws at a depth of up to 10 mm – incomplete penetration, cracks, gas pores, and slag inclusions, are determined.

Information on the presence of defects is obtained by registering and analyzing magnetic stray fields arising above the locations of defects.

The possibility of using magnetic methods to control ferromagnetic materials is based on their properties. In a normal state, in a product made of ferromagnetic material, there are spontaneously magnetized regions arranged in different ways – domains whose fields in this case compensate each other and the resulting magnetic field of the product is equal to zero. Under the influence of the magnetic field, the domains are oriented in the direction of this field, summed up and the part is magnetized. Figure 1 shows the hysteresis loop, which characterizes the magnetization process.

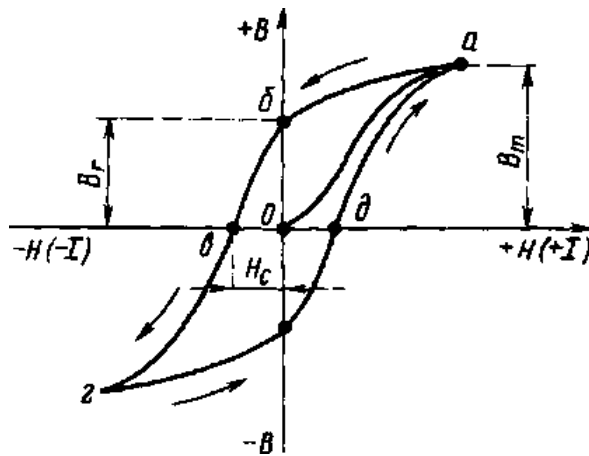


Figure 1 – Hysteresis loop

The magnetic flux in the body of a ferromagnetic material spreads uniformly over the cross section, in case if the material has a solid structure and its magnetic permeability is constant.

The continuity of the material is broken in those places where defects are localized. The resistance exerted by the magnetic flux from the side of the medium with defects is many times greater, therefore the flow is deflected as if flows around the defect. At this point, the magnetic field thickens and partially extends beyond the limits of the products, spreads through the air, and then enters the product back after the defect. This phenomenon is depicted in figure 2. In those places where the magnetic flux comes from and where it enters, magnetic poles are formed, which also remain after the removal of the magnetizing field due to residual magnetization.

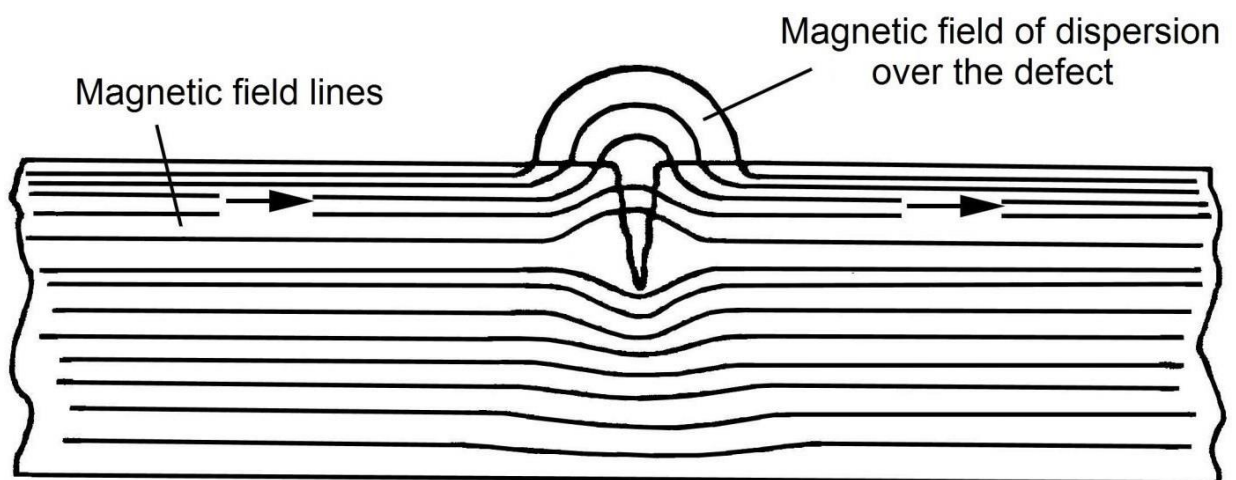


Figure 2 – Power lines in the object with a defect

The magnetic field arising above the defect is called the stray field. If the defect is located perpendicular to the direction of the magnetic flux, then the scattering effect is maximal. Therefore, controlled welded joints are magnetized both in the longitudinal and transverse directions relative to the axis of the seam. This approach allows identifying defects located both along and across the seam, as well as located at a small angle to it.

Thus, the control by magnetic methods consists in detecting stray fields formed by defects, deciphering the nature and magnitude of the detected defects. Magnetic control methods are classified by registering methods, including more than six: magnetic particle inspection, magnetographic inspection, magnetic ferro-probe testing, magnetic induction method and magnetic semiconductor method. In distribution in the field of non-destructive testing of welded joints only two methods found its greatest use: magnetic particle inspection and magnetographic inspection.

To detect surface defects such as micro cracks and cracks, a capillary control method is used. Such defects come to the surface of the product, they also include narrow incomplete penetration and small surface pores that are difficult to detect during an external examination.

In particular, this method of non-destructive testing is important for detecting defects in critical welded joints from heat-resistant, austenitic stainless and heat-resistant steels, aluminum, brass, whose properties are limited by the possibility of using other methods.

Surface defects of microscopic opening and microscopic extent (with a ratio of not more than 1:10) have the properties of capillaries. The method by which such defects are detected is called capillary.

The capillary method is based on the ability of the indicator fluid to penetrate into the cavity of surface and through defects of the material of the test objects. After penetration of the indicator fluid, indicator traces are obtained by visual means or by means of transducers.

The method is used to detect surface and through discontinuities in the test object, as well as to be able to determine their length, orientation, and location on

the surface (for defects such as cracks that have a length). Defects are detected by changing the contrast of the background and the image of surface defects, defects are detected. For this purpose, special light-contrast and color-contrast indicator fluid – penetrants are used.

A penetrant is applied to the previously decontaminated surface, and then it is kept for some time in order to allow the liquid to fill the defect cavity. Next, the excess indicator liquid is removed and the developer is applied. As time passed the liquid that remains inside the defect forms a pattern at the background of the developer, according to which the presence of a defect can be considered. The main stages of the control by the capillary method are shown in figure 3.

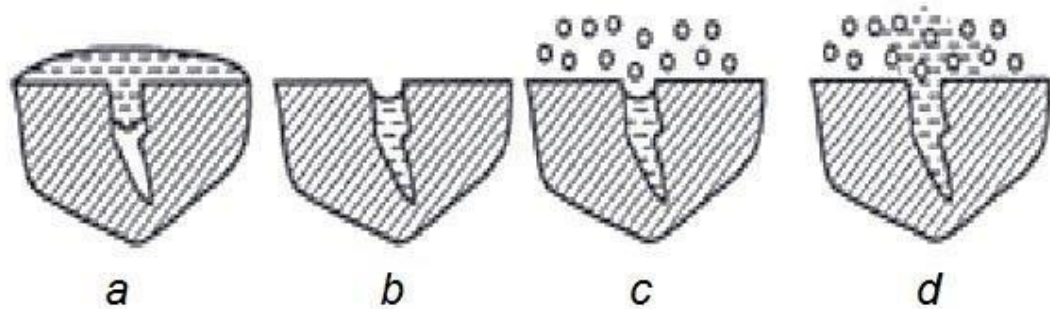


Figure 3 – Stages of capillary control: *a* – application of indicator liquid; *b* – removal of excess;

c – application of the developer; *d* – the stains formation at the site of defects

Ultrasonic method

One of the most widely used methods for detecting internal defects in welds is ultrasonic method. This method is based on the ability of ultrasonic waves to penetrate into materials, to be reflected and refracted while hitting the interface of two materials with different sound permeability.

Using ultrasound, it is possible to detect internal macroscopic defects in casting, forgings, welding (cracks, shells, slag inclusions, gas pores, lack of penetration, etc.).

Ultrasound is elastic mechanical oscillations of medium particles whose frequency is located outside the audible range, i.e. from 20 kHz to 500 MHz.

Ultrasonic waves can be obtained by mechanical, thermal, piezoelectric and other methods. In ultrasonic flaw detection of metals and welded joints, a piezoelectric method of ultrasound is more often used.

Some natural crystals, for example, quartz, tourmaline, Rochelle salt, and others have a piezoelectric effect. The essence of the piezoelectric effect is that if a plate is cut from these crystals in a certain way, when a plate is compressed or stretched, an electric charge appears on its surface: positive on one side and negative on the other one. For even distribution of electric charges on the surface of the crystals, they are carefully grind, polished and coated with metal.

If elastic mechanical oscillations (ultrasonic waves) affect the piezoelectric-crystal plate, an alternating electrical voltage arises at its electrodes with a frequency of ultrasonic vibrations acting on it. The piezoelectric effect is reversible, i.e. if an alternating voltage is applied to the plate cut from the crystal, it begins to oscillate with the frequency of the applied voltage. If the frequency of the applied voltage is higher than 20 kHz, the plate, oscillating, will emit ultrasonic waves, and their direction is perpendicular to the surface to which the voltage is applied. In the first case, this is called direct, and in the second, the reverse piezoelectric effect. Due to the complexity of processing, natural crystals in ultrasonic flaw detection are replaced by artificial ones, which are made by pressing and sintering, most often from barium titanate powder or lead titanite zirconate.

Ultrasound propagates in a homogeneous medium in the form of a directional wave, which at high frequencies obeys the laws of the light beam, i.e. it is reflected, refracted at the boundary of dissimilar media, and is affected by interference and diffraction.

Waves are reflected from the defect only if their length is commensurate with the defect or more. Otherwise, ultrasonic waves bend round a small discontinuity without significant reflection. Therefore, increasing the sensitivity of the method requires the use of waves of the shortest possible length.

Radiation method

Radiation flaw detection is based on the scanning of objects with ionizing

radiation followed by registration and analysis of transmitted radiation by various detectors.

The block diagram of radiation monitoring consists of three main elements:

- ionizing radiation source;
- controlled object (welded joint);
- a detector recording flaw detection information.

The block diagram of the radiation monitoring is illustrated in figure 4.

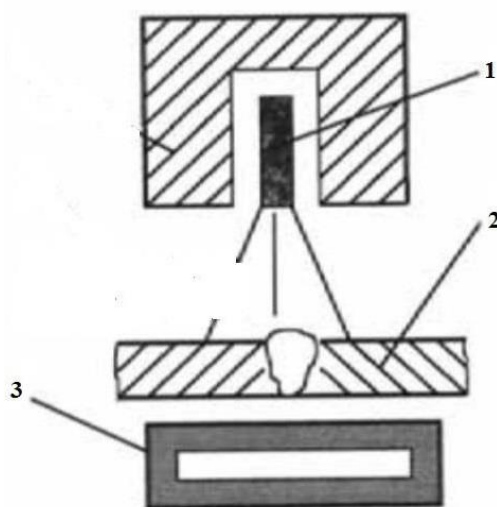


Figure 4 – Radiation monitoring scheme:

1 – X-ray emitter; *2* – object of control; *3* – detector

Passing through the substance of the product, ionizing radiation weakens; this is due to the absorption and scattering of radiation in the material of the object. Radiation weakening depends on the density and thickness of the test object, as well as on the energy of the emitter itself. The radiation intensity during its passage through the gas pore is weakened less because of the less thickness of the product in this place. With the passage of radiation, for example, through a tungsten inclusion, which arose during argon-arc welding, its intensity sharply decreases. In other words, the radiation transmitted by the test object carries information about the internal structure of the translucent object, which is represented as a shadow radiation image.

X-ray patterns

Figures 5-7 show the basic diagrams of radiography of welded joints (butt and corner) of oil pipelines, process and auxiliary pipelines.

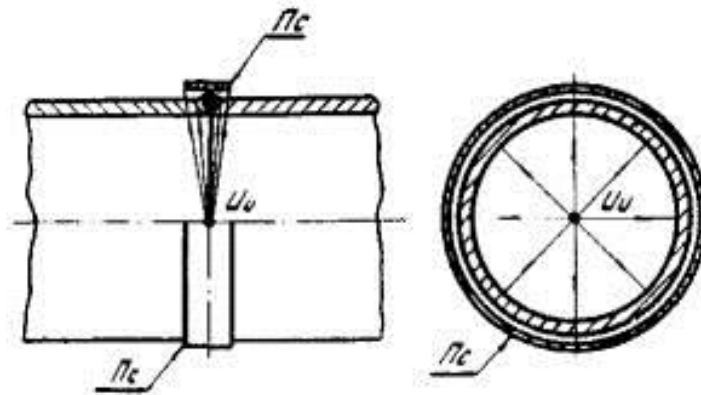


Figure 5 – Panoramic scanning pattern:

Иu – radiation source; *Пс* – receiving device.

Ring seams of pipelines, junctions and pipe assemblies (welding of tees, elbow bends) are translucent according to one of four schemes depending on the geometric dimensions of the pipes, their type and activity of the radiation source used [6].

Ring welds of welded products, in which free access inside is possible inside, are monitored for one radiation installation according to the scheme shown in figure 5 (panoramic radiography). In the future, we will be interested in precisely this pattern of translucency, since it is more relevant, for the problems that are solved in this thesis work.

The most common scheme of panoramic radiography is the installation inside the pipe of the radiation source on a moving platform, called a crawler, inside the pipe. The radiation receiver, in this case, is installed on the outside of the pipe. Most often, X-ray- sensitive film acts as a receiver in some way attached to the test object in some way.

The use of scintillator detectors, for example, based on cesium-iodine crystals, is promising as an X-ray detector. Such receivers are constructed similarly to a digital camera matrix and convert the shadow image of the test object into a digital form, more convenient for processing and storage.

Technical characteristics of the crawler are selected on the basis of the following parameters:

- diameter of the tube;
- wall thickness;
- sensitivity control;
- type of ionizing radiation receiver;
- ionizing radiation source;
- rate of the linear part construction.

Welded joints of pipelines, which for any reason cannot be accessed from the inside for any reason, are controlled according to the scheme shown in figure 6 (frontal radiography). Translucence of such seams is carried out through two pipe walls for three or more installations of an ionizing radiation source. With this arrangement, the source and receiver of radiation are located on the outside of the pipe in antiphase to each other. The emitter is adjusted in such a way that the shadow image of the opposite side of the pipe and the seam falls into focus. The part of the seam, located in front of the radiator is eroded and is not registered on the receiver.

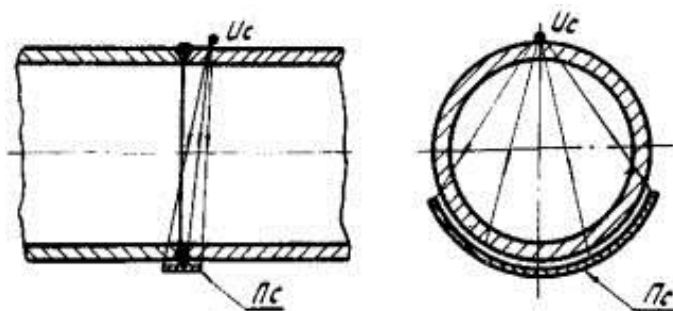


Figure 6 – Frontal scanning pattern

The main parameters of transmission according to the scheme presented in figure 6:

- the radiation source is located directly on the pipe;
- the angle between the direction of radiation and the plane of the weld should not exceed 5° ;
- the focal length should be equal to the outer diameter of the tube;
- the minimum number of exposures is three. At each exposure, the radiation source should be shifted by an angle of no more than 120° .

According to the ellipse scanning pattern, the control is carried out, as a rule, in two settings, displacing the radiation source by 90° .

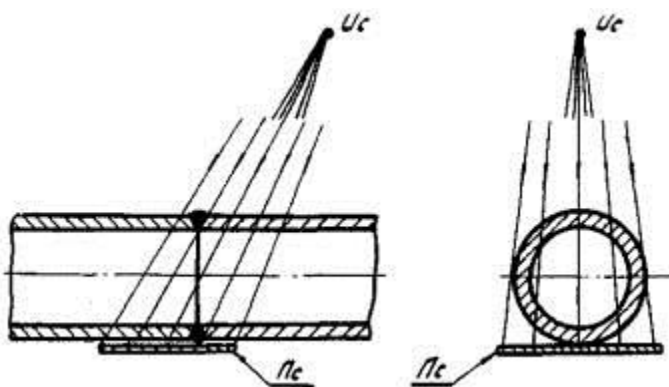


Figure 7 – Scheme of radiographic «ellipse»

As a rule, before radiographic inspection a special surface preparation of the welded joint is not required. However, in cases when the weld surface irregularities, metal spatter can damage the radiographic film, this surface should be cleaned out.

After elimination of the weld defects, detected as a result of the previous inspection, marking of the welded joint is performed. The weld is divided into separate sections; the beginning and the direction of numbering are specified in a specific sequence for each image [8].

In the monitored areas, sensitivity standards should be set so that each image has a complete image of the standard. With panoramic scanning of ring-shaped welded joints, it is allowed to set sensitivity standards, one for each quarter of the circumference of the welded joint.

To measure the depth of a defect by darkening it in a radiographic image by the method of visual or instrumental comparison with standard holes, hole type penetrameters or simulators are used. When determining the sensitivity of control, the calculation must be carried out according to the thickness of the pipe wall on which the sensitivity standards are set.

X-ray crawler

X-ray crawler is a self-propelled automatic complex used to control the quality of welded joints of various pipelines. It is a completely independent exposure device that does not need a wired connection and is capable of receiving commands

for moving, stopping and taking radiographs from the outside using isotope and magnetic devices.

The principle of operation is based on the conversion of X-rays transmitted through the test object into a digital image. The radiation generated by the X-ray apparatus affects the matrix of a flat panel detector, which consists of a scintillation screen and a silicon photodiode array. Under the influence of X-rays, the scintillation screen starts to glow. The luminous flux enters the silicon photodiode array of the detector, in which the luminous intensity is converted into an electric current, the signal of which is amplified and converted into a digital code. In the detector's electronic circuit, a digital image of the test object is generated and transmitted to the computer of the registration and control unit.

As a construction, an X-ray crawler is a complex that is powered by batteries and consists of separate modules designed to inspect pipes of various diameters. Control of the crawler with the help of external control devices is minimized due to possible pre-setting, allowing the crawler to be adapted to work in any pipeline.

Application in modern devices of microprocessor technology provides the possibility of high performance, reliability and ease of operation with the device. Placing it inside the pipe allows controlling the circumferential weld for one installation, while using external devices it is necessary to conduct from two and more, for larger pipes diameters, installations of the device. In addition, using a crawler, there is no need to rearrange the X-ray tube on each welding seam, and the quality of the obtained image improves, since only one wall of the tube is visible.

Figure 8 is a schematic drawing of a crawler located inside the pipeline, explaining the principle of its operation.

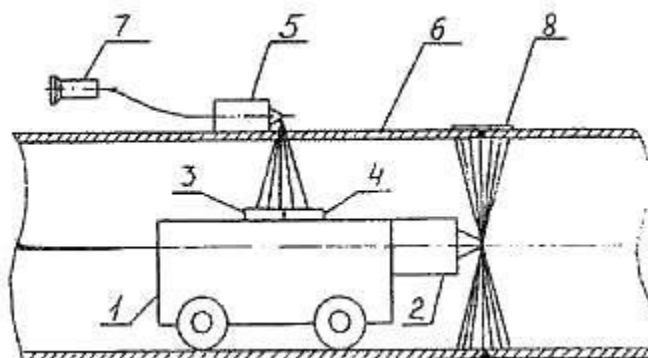


Figure 8 – Scheme of the X-ray crawler:

1 – self-propelled truck; 2 – panoramic unit; 3,4 – ionization counters;
5 – command unit; 6 – pipe; 7 – remote control; 8 – radiation detector

As a receiver of penetrating radiation of the command apparatus, two ionizing counters are used in the crawler. Before the start of the movement of the self-propelled trolley, the command device switches on with the help of the remote control. Thanks to a special collimator, it has a narrowly directed radiation pattern strictly inside the tube. When a command vehicle emits radiation to detector 3, the crawler slows down its movement, and when detector 4 is triggered, it stops at the position when the radiation focus of the panoramic apparatus is on a line perpendicular to the controlled pipe seam and X-ray film [14].

Automated orbital motion systems

Technologies with the use of automated orbital motion systems for monitoring circumferential welds of pipelines have great potential for development. Such technologies can largely automate the process, which will reduce the time spent on the work. Along with this, introducing X-ray receiver passing through a controlled object, for example, digital radiography methods or receivers that convert radiation into electrical signals, can again significantly speed up the process and achieve more convenient and modern methods of documenting research results.

The main parameters characterizing the performance of such automated orbital systems include the monitoring speed, which depends directly on the speed of movement of the ionizing radiation detector along the diagnosed section of the pipeline; load capacity and downforce required to hold the carriage detector. This force is provided by the method of fastening the structure to the surface of the pipe.

There are already such systems of orbital movement of equipment for radiography, built on various principles. The equipment of the «TRANSCAN» company, for example, allows moving the radiator and the radiographic panel along special belts (bands) covering the pipe in the region of the seam under study.



Figure 9 – Portable complex of digital radiography «TRANSCAN»

Such layout schemes are energy efficient, since they significantly reduce labor and energy costs when installing equipment and allow operating radiation sources in the optimal mode.

The use of a belt creates certain difficulties, since the belts usually have a certain length that corresponds to only one size of the pipe and for full control it is necessary to have a full set of belts.

There is a design of the mechanism of orbital movement, implemented on the so-called magnetic wheels.

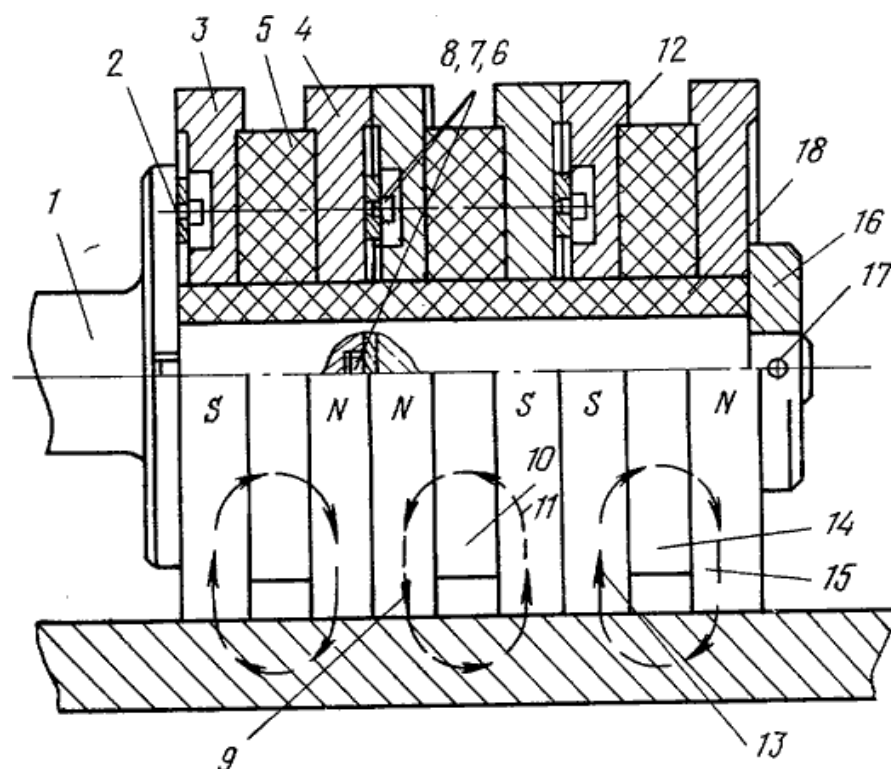


Figure 10 – Drawing of the proposed wheel in the section

The principle of operation of magnetic wheels is as follows: a permanent magnet of an annular shape, axially magnetized, is located between two supporting disks-magnetic circuits. The periphery of the magnet is removed from the supporting surface (pipe), but the magnetic cores rest on it. The magnetic flux of the clutch passes through the body of the magnet and the adjacent magnetic cores. The flow closes in the ferromagnetic material of the pipe and the pander motive force presses the structure to the surface of the pipe.

The design of the wheel allows creating mechanisms for orbital movement; additional supporting elements (belts, chains) are not needed, since the mechanism rests directly on the pipe. The only limitation is the use of such mechanisms on pipes made of ferromagnetic materials.

A similar scheme was implemented in the mechanism of the orbital movement of the filmless automated radiometric system «BARS» and equipment of the company «JME».



Figure 11 – Filmless automated radiometric system «BARS»

However, such a scheme is used for ultrasonic testing, the equipment, which is distinguished by smaller mass-dimensional characteristics as compared to X-ray emitters.